



Solange Cristina da Cruz Cardoso

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

Placas para a construção com base em carolo de milho

Contributo para o seu desenvolvimento e caracterização

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de
Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada, Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Lina Nunes, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de
Engenharia Civil

Júri:

Presidente:	Prof. Doutor Nuno da Costa Guerra
Arguente:	Prof. Doutora Ana Margarida Armada Brás
Vogal:	Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Dezembro de 2014



Solange Cristina da Cruz Cardoso

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

Placas para a construção com base em carolo de milho

Contributo para o seu desenvolvimento e caracterização

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de
Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada, Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Lina Nunes, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de
Engenharia Civil

Júri:

Presidente:	Prof. Doutor Nuno da Costa Guerra
Arguente:	Prof. Doutora Ana Margarida Armada Brás
Vogal:	Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

‘Copyright’ Solange Cristina da Cruz Cardoso, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que contribuíram para a realização desta dissertação:

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Doutora Paulina Faria, orientadora científica desta dissertação, pela excelente orientação, disponibilidade permanente e ajuda incansável que, com a sua exigência, vasto conhecimento e enorme ajuda, tornaram esta dissertação numa experiência muito enriquecedora.

Em segundo lugar e não menos importante, o meu agradecimento à Doutora Lina Nunes, co-orientadora científica desta dissertação, pelos conselhos, disponibilidade, ajuda, experiência e conhecimento, que contribuíram para a realização de todo este trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Silva pelo acompanhamento e ajuda na campanha experimental, bem como pelo apoio e esclarecimento das dúvidas que surgiram.

Ao Técnico Superior António Silva pela ajuda e paciência na moagem do carolo, à Técnica Superior Sandra Sousa pela realização do ensaio de contaminação biológica, à Bolseira de Experimentação Marta Duarte pelos conselhos, ajuda e companhia e ao Técnico Superior Paulo Santos pela simpatia e auxílio, pertencentes à equipa do Núcleo de Madeiras do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

À ANPROMIS, em especial ao Engenheiro Tiago Pinto pela simpatia, ajuda e disponibilização do carolo de milho.

À empresa FabriRes pelo fornecimento da cola comercial e conselhos fornecidos.

Ao Laboratório de Análises do Departamento de Química da FCT/UNL pela simpatia e disponibilização do hidróxido de sódio e do ácido bórico.

Aos bolseiros de investigação do Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL, em especial ao Nuno Dinarte pela ajuda no laboratório, companhia e grande amizade.

À minha família, especialmente aos meus pais, que tornaram este sonho possível, com apoio incondicional, permanente ajuda, conselhos, dedicação e amor, e à minha irmã, por toda a ajuda e companhia.

Ao Alexandre Cruz, por todo o apoio, compreensão, ajuda, amizade, paciência e amor ao longo destes anos.

Aos meus amigos da faculdade, especialmente à Isabel, Cinderela, Micael e Pedro pela amizade, ajuda, companhia e diversão ao longo destes anos de muitas alegrias, mas também de tristezas.

Aos meus amigos de longa data pela força, preocupação e grande amizade.

RESUMO

Vários autores têm avaliado a possibilidade de utilização de diversos resíduos ou subprodutos agrícolas, como o carolo de milho, enquadrado no esforço da comunidade científica de encontrar materiais de construção alternativos mais ecológicos

O objetivo principal deste trabalho é o estudo da possibilidade de aproveitamento do carolo de milho e de colas de origem natural para o desenvolvimento de placas para utilização como isolamento e revestimento na construção.

O carolo de milho é um resíduo agrícola resultante de uma cultura arvense muito importante a nível nacional. Por outro lado, as colas naturais são constituídas por materiais de origem natural, não mineral, que podem ser utilizados como tal ou após sofrerem pequenas modificações para atingirem o comportamento e desempenho requerido. Dois exemplos dessas colas naturais são a de caseína e a de farinha de trigo.

Para o fabrico destas placas foi necessário adotar um processo de trituração expedito, fabricar moldes para a conceção das amostras e propor um processo de fabrico prático e eficaz. Depois de encontradas todas as soluções imprescindíveis ao processo de produção, foram produzidas placas com diferentes constituições, tendo como variáveis o tipo de cola, a dimensão das partículas de carolo, a existência de fibras de reforço e as características do processo de prensagem.

Neste trabalho, foi caracterizado o carolo de milho, bem como os vários tipos de placas produzidos, em termos físicos e mecânicos. Os resultados foram analisados e discutidos, de modo a seleccionar-se o tipo de placas com melhores características, e, sempre que possível, foram comparados com os valores de outros autores e de materiais de isolamento frequentemente utilizados na construção civil.

Os resultados alcançados permitem afirmar que o tipo de placa selecionado aparenta ter um potencial aceitável como material de isolamento térmico e, eventualmente, acústico, para utilização como revestimento ou camada intermédia em paredes, pavimentos ou tetos falsos. Este tipo de placa possui ainda uma elevada resistência mecânica quando comparado com materiais de isolamento tradicionais.

Termos chave: placa de isolamento, carolo de milho, cola natural, resíduo vegetal, sustentabilidade, eco-eficiência

ABSTRACT

Several authors have assessed the possibility of using various agricultural sub products or waste, as corn cob, as part of the effort of the scientific community to find alternative and more ecologic construction materials.

The main objective of this research is the study of the possibility of the use of corn cob and natural adhesives for the development of the boards for building's insulation and coating.

Corn cob is an agricultural residue from a very important national field crop. On the other hand, natural adhesives are made from natural materials, non-mineral, that can be used as such or after some modifications to achieve the behaviour and performance required. Two examples of this natural adhesives are casein and wheat flour.

To the manufacture of this boards it's necessary to adopt a fast grinding process, manufacture molds for the design of the samples and propose a practical and effective manufacturing process. After found all indispensable solutions for the manufacturing process, boards with different constitutions were manufactured, having as variables the type of adhesive, the dimension of the corn cob particles, the existence of reinforcing fibres and the features of the pressing process.

In this research, corn cob was characterized, as well as the various types of boards manufactured, in physical and mechanical terms. The results were analysed and discussed to best select the type of board with the best properties and, when was possible, this properties were compared with the values from other authors and to insulation materials commonly used in construction.

The achieved results allow to affirm that the type of board selected appears to have an acceptable potential as a thermal material and, eventually, acoustic, to use as coating or intermediate layer on walls, floors or false ceilings. This type of board has a high mechanical resistance when compared with traditional insulating materials.

Keywords: insulation board, corn cob, natural adhesive, vegetal residue, sustainability, eco-efficiency

ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos e metodologia	1
1.3. Organização do texto	2
2. COLAS NATURAIS.....	5
2.1. Considerações gerais	5
2.2. Taninos de acácia-mimosa e lenhina	6
2.3. Amido de milho e taninos de acácia-mimosa	8
2.4. Taninos de bagaço de uva.....	9
2.5. Glúten de trigo (hidrolisado).....	10
2.6. Caseína.....	12
2.7. Farinha de trigo	13
2.8. Farinha de soja	14
2.9. Óleo de rícino.....	15
2.10. Furano.....	16
2.11. Síntese	17
3. CAROLO DE MILHO	19
3.1. Carolo como resíduo agrícola.....	19
3.2. Caracterização do carolo	21
3.3. Uso do carolo na construção	23
3.4. Caracterização das placas de carolo e cola sintética	25
3.5. Comparação do carolo com outros materiais utilizados na construção	27
3.6. Síntese	29
4. CARACTERIZAÇÃO DO CAROLO E DOS GRANULADOS UTILIZADOS	31
4.1. Massa volúmica do carolo	31
4.2. Dureza superficial das camadas de carolo – Durómetro.....	34
4.3. Moagem do carolo	34
4.4. Análise granulométrica	35
4.5. Teor de água das partículas de carolo	37
4.6. Baridade das partículas de carolo	38
4.7. Síntese	41
5. PLACAS DE CAROLO COM COLAS NATURAIS E FABRICO ARTESANAL.....	43
5.1. Molde	43
5.2. Constituintes e prensagem	43
5.3. Massa volúmica e teor de água.....	49
5.4. Características visuais e olfativas.....	52
5.5. Condutibilidade térmica	52

5.6.	Velocidade de propagação dos ultrassons	56
5.7.	Dureza superficial – Durómetro	59
5.8.	Resistência superficial – Esclerómetro pendular	60
5.9.	Resistência à flexão	62
5.10.	Módulo de elasticidade dinâmico	64
5.11.	Resistência à compressão e resiliência	66
5.12.	Permeabilidade ao vapor de água	70
5.13.	Contaminação biológica	73
5.14.	Síntese	74
6.	PLACAS DE CAROLO COM COLAS NATURAIS E FABRICO LABORATORIAL	77
6.1.	Molde	77
6.2.	Constituintes e prensagem	77
6.3.	Viscosidade das colas	79
6.4.	Massa volúmica e teor de água	81
6.5.	Características visuais e olfativas	82
6.6.	Condutibilidade térmica e velocidade de propagação dos ultrassons	84
6.7.	Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular	85
6.8.	Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e resiliência	85
6.9.	Permeabilidade ao vapor de água	86
6.10.	Bio-suscetibilidade	87
6.11.	Síntese	90
7.	PLACAS DE CAROLO COM COLA COMERCIAL E FABRICO LABORATORIAL	91
7.1.	Molde	91
7.2.	Constituintes e prensagem	91
7.3.	Viscosidade da cola	92
7.4.	Massa volúmica e teor de água	92
7.5.	Características visuais e olfativas	92
7.6.	Condutibilidade térmica	93
7.7.	Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular	94
7.8.	Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e resiliência	94
7.9.	Permeabilidade ao vapor de água	94
7.10.	Bio-suscetibilidade	96
7.11.	Síntese	96
8.	DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	97
8.1.	Placas com colas naturais de fabrico artesanal e de fabrico laboratorial	97
8.2.	Placas com colas naturais e com cola comercial	100
8.3.	Comparação dos melhores resultados com os de outros autores	100

8.4.	Comparação dos melhores resultados com materiais de isolamento tradicionais.....	101
8.5.	Síntese	103
9.	CONCLUSÃO	105
9.1.	Conclusões finais	105
9.2.	Propostas de trabalhos futuros	106
	BIBLIOGRAFIA.....	107
	ANEXOS.....	115
	A – Resultados individuais obtidos na caracterização do carolo e do granulado.....	116
	B – Resultados individuais obtidos na caracterização das placas de carolo com colas naturais artesanais e fabrico artesanal.....	116
	C – Aspeto visual das placas	116
	D – Resultados individuais obtidos na caracterização das placas de carolo com colas naturais artesanais e com cola comercial e fabrico laboratorial	116
	E – Ficha técnica da cola comercial.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Área de plantação mundial de milho em 2013, por país	19
Figura 3.2 – Evolução da área de plantação de milho em Portugal	19
Figura 3.3 – Distribuição por distrito da área de plantação de milho em Portugal em 2013	20
Figura 3.4 – Identificação de alguns constituintes da planta do milho.....	21
Figura 3.5 – Camadas constituintes do carolo.....	22
Figura 3.6 – Lupa binocular <i>Olympus SZX12</i>	22
Figura 3.7 – Parede de tabique antiga com incorporação de carolo de milho	24
Figura 3.8 – Amostra da placa de carolo de milho proposta como uma solução de isolamento acústico	27
Figura 4.1 – Amostras de carolo de milho	32
Figura 4.2 – Pesagem hidrostática do conjunto.....	32
Figura 4.3 – Fases do ensaio de determinação da massa volúmica de carolo fragmentado	33
Figura 4.4 – Provette e equipamento do ensaio de determinação da dureza superficial do carolo.....	34
Figura 4.5 – Moinho picador <i>Retsch SM 2000</i>	35
Figura 4.6 – Curva granulométrica das partículas de carolo de milho obtidas mecanicamente	36
Figura 4.7 – Dimensão das misturas das diferentes passagens no moinho	36
Figura 4.8 – Amostras de 1P, 2P e 3P.....	37
Figura 4.9 – Teor de água inicial e evolução do teor de água após secagem	38
Figura 4.10 – Dimensão das várias frações de carolo.....	39
Figura 4.11 – Ensaio de determinação da baridade do carolo de milho	40
Figura 4.12 – Baridade das frações de carolo	40
Figura 4.13 – Frações das partículas das misturas “industriais” de carolo (contínuas)	41
Figura 5.1 – Molde em metal para o fabrico artesanal	43
Figura 5.2 – Aspeto de algumas colas artesanais produzidas	46
Figura 5.3 – Aspeto de algumas misturas produzidas.....	47
Figura 5.4 – Prensagem da placa com um macaco hidráulico	47
Figura 5.5 – Sistema que mantém a pressão imposta sem necessidade de utilizar o macaco hidráulico	48
Figura 5.6 – Colocação da rede de fibra de vidro durante a moldagem da placa	48
Figura 5.7 – Visualização de dois tipos de placas na lupa binocular <i>Olympus SZX12</i>	48
Figura 5.8 – Direção das medições, em termos de comprimento (amarelo), largura (azul) e espessura (vermelho).....	49
Figura 5.9 – Massa volúmica das placas com cola de caseína.....	50
Figura 5.10 – Massa volúmica das placas com cola de farinha	50
Figura 5.11 – Massa volúmica das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	51
Figura 5.12 – Variação do teor de água das placas com cola de caseína	51
Figura 5.13 - Variação do teor de água das placas com cola de farinha	51

Figura 5.14 - Variação do teor de água das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre.....	52
Figura 5.15 – Medição da fissura da placa FEV8_c4	54
Figura 5.16 – Ensaio de determinação da condutibilidade térmica das placas	55
Figura 5.17 – Condutibilidade térmica das placas com cola de caseína	55
Figura 5.18 – Condutibilidade térmica das placas com cola de farinha.....	55
Figura 5.19 – Condutibilidade térmica das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	56
Figura 5.20 – Ensaio de determinação da velocidade de propagação dos ultrassons	57
Figura 5.21 – Identificação dos pontos de leitura de propagação indireta (azul) e direta (amarelo)	57
Figura 5.22 – Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de caseína	58
Figura 5.23 - Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de farinha.....	58
Figura 5.24 - Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	58
Figura 5.25 – Determinação da dureza superficial da placa.....	59
Figura 5.26 – Dureza superficial por durômetro das placas com cola de caseína	59
Figura 5.27 – Dureza superficial por durômetro das placas com cola de farinha.....	60
Figura 5.28 – Dureza superficial por durômetro das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre.....	60
Figura 5.29 – Esclerômetro pendular PROCEQ PT.....	60
Figura 5.30 – Resistência superficial por esclerômetro pendular das placas com cola de caseína.....	61
Figura 5.31 – Resistência superficial por esclerômetro pendular das placas com cola de farinha	61
Figura 5.32 – Resistência superficial por esclerômetro pendular das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre.....	62
Figura 5.33 – Ensaio de resistência à flexão	63
Figura 5.34 – Resistência à flexão das placas com cola de caseína	63
Figura 5.35 – Resistência à flexão das placas com cola de farinha	63
Figura 5.36 – Resistência à flexão das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	64
Figura 5.37 – Placas partidas após o ensaio de resistência à flexão	65
Figura 5.38 – Ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico.....	65
Figura 5.39 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de caseína	65
Figura 5.40 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de farinha.....	66
Figura 5.41 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre.....	66
Figura 5.42 – Ensaio de resistência à compressão e determinação da resiliência	67
Figura 5.43 – Esmagamento da placa durante o ensaio de determinação da resiliência	68
Figura 5.44 – Resistência à compressão das placas com cola de caseína	68
Figura 5.45 – Resistência à compressão das placas com cola de farinha	68

Figura 5.46 – Resistência à compressão das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre.....	69
Figura 5.47 – Resiliência das placas com cola de caseína	69
Figura 5.48 – Resiliência das placas com cola de farinha	69
Figura 5.49 – Resiliência das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	70
Figura 5.50 – Fases do ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor de água das placas de carolo de milho	71
Figura 5.51 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de caseína	72
Figura 5.52 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de farinha	73
Figura 5.53 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre	73
Figura 5.54 – Presença de fungos no interior das placas.....	74
Figura 5.55 – Observação dos fungos na lupa binocular Olympus SZX12	74
Figura 6.1 – Molde em metal para o fabrico laboratorial das placas	77
Figura 6.2 – Misturadora mecânica utilizada para o fabrico das colas em laboratório.....	78
Figura 6.3 – Prensagem das placas de fabrico laboratorial e equipamento de pressão	78
Figura 6.4 – Equipamento para determinação da viscosidade das colas.....	80
Figura 6.5 – Extração das bolhas de ar presentes na cola de caseína	80
Figura 6.6 – Gráficos obtidos pelo programa de determinação da viscosidade	81
Figura 6.7 – Massa volúmica das placas de fabrico laboratorial	82
Figura 6.8 – Variação do teor de água das placas de fabrico laboratorial.....	82
Figura 6.9 – Placas com cola natural artesanal e fabrico laboratorial	83
Figura 6.10 – Condutibilidade térmica das placas de fabrico laboratorial	84
Figura 6.11 – Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas de fabrico laboratorial.....	84
Figura 6.12 – Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular das placas de fabrico laboratorial	85
Figura 6.13 – Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das placas de fabrico laboratorial.....	86
Figura 6.14 – Resiliência das placas de fabrico laboratorial.....	87
Figura 6.15 – Permeabilidade ao vapor de água das placas de fabrico laboratorial	87
Figura 6.16 – Fases do ensaio de bio-suscetibilidade	88
Figura 6.17 – Avaliação do grau de desenvolvimento dos fungos na superfície dos provetes das placas de fabrico laboratorial	89
Figura 6.18 – Provetes após o término do ensaio de contaminação biológica	90
Figura 7.1 – Massa volúmica das placas com cola comercial	92
Figura 7.2 – Placas com cola natural comercial	93
Figura 7.3 – Condutibilidade térmica das placas com cola comercial	93
Figura 7.4 – Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular das placas com cola comercial	94
Figura 7.5 – Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das placas com cola comercial	95
Figura 7.6 – Resiliência das placas com cola comercial	95

Figura 7.7 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola comercial.....	95
Figura 7.8 – Provete de BB8_h8_f1/2 após o término do ensaio de contaminação biológica ...	96
Figura 8.1 – Propriedades físicas das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial.....	99
Figura 8.2 – Comportamento higrotérmico das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial.....	99
Figura 8.3 – Características mecânicas das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial.....	99

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Algumas características das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por outros autores.....	26
Quadro 3.2 – Comportamento à água das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por outros autores.....	26
Quadro 3.3 – Algumas características complementares das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por Cruz (2011)	27
Quadro 3.4 – Características dos materiais.....	28
Quadro 4.1 – Massa volúmica do carolo.....	33
Quadro 4.2 – Peneiros e respetiva malha usados na análise granulométrica	35
Quadro 4.3 – Peneiros e respetiva malha usados na determinação da baridade	40
Quadro 4.4 – Percentagens das frações das misturas “industriais”	41
Quadro 5.1 – Dimensão das partículas de carolo utilizadas no fabrico das placas	45
Quadro 5.2 – Características visuais e olfativas	53
Quadro 6.1 – Constituição das placas de fabrico laboratorial	79
Quadro 6.2 – Quantidades dos ingredientes para a determinação da viscosidade das colas ...	79
Quadro 6.3 – Viscosidade das colas.....	81
Quadro 6.4 – Características das placas de fabrico laboratorial	83
Quadro 7.1 – Constituição e características da prensagem das placas com cola comercial.....	91
Quadro 7.2 – Características das placas com cola comercial	93
Quadro 8.1 – Identificação das placas idênticas de fabrico artesanal e laboratorial	97
Quadro 8.2 – Comparação dos resultados com os de outros autores	101
Quadro 8.3 – Comparação dos resultados com materiais de isolamentos tradicionais	102

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

ANPROMIS – Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo

ASTM – American Society for Testing and Materials

CEN – Comité Européen de Normalisation

EN – European Norm

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

IPQ – Instituto Português da Qualidade

NP – Norma Portuguesa

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Placas de carolo de milho e cola natural

C8_c8 – Caseína, granulometria 8, prensagem a frio durante 8 h

C8_c4 – Caseína, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h

C4_c8 – Caseína, granulometria 4, prensagem a frio durante 8 h

C4_c4 – Caseína, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h

C4_c4_f1/2 – Caseína, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

C4_c4_f1/3 – Caseína, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/3 da espessura

Cmg_c4_f1/2 – Caseína, granulometria mistura grossa, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

Cmf_c4_f1/2 – Caseína, granulometria mistura fina, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

F8_h0.5 – Farinha de trigo, granulometria 8, prensagem a quente durante 0,5 h

FH₃8_c4 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h

FH₃4_c4 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h

FH₃8_c4_f1/2 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FH₃4_c4_f1/2 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FH₃8_c4_f1/2 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FH₃mg_c4_f1/2 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria mistura grossa, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FH₃mf_c4_f1/2 – Farinha de trigo e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria mistura fina, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FEV8_h0.5 – Farinha de trigo, clara de ovo e vinagre, granulometria 8, prensagem a quente durante 0,5 h

FEV8_c4 – Farinha de trigo, clara de ovo e vinagre, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h

FEVH₆8_c4 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 6 g de hidróxido de sódio, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h

FEVH₃8_c4 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h

FEVH₃4_c4 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h

FEVH₃4_c4_f1/2 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FEVH₃4_c4_f1/3 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/3 da espessura

FEVH₃mg_c4_f1/2 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria mistura grossa, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

FEVH₃mf_c4_f1/2 – Farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 3 g de hidróxido de sódio, granulometria mistura fina, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

C8_c8_f1/2 – Caseína, granulometria 8, prensagem a frio durante 8 h, rede a 1/2 da espessura

FB8_h0.5_f1/2 – Farinha de trigo e ácido bórico, granulometria 8, prensagem a quente durante 0,5 h, rede a 1/2 da espessura

FEHB8_c4_f1/2 – Farinha de trigo, clara de ovo, hidróxido de sódio e ácido bórico, granulometria 4, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

BB8_h8_f1/2 – Bio Binder 701, granulometria 8, prensagem a quente durante 8 h, rede a 1/2 da espessura

BB8_c8_f1/2 – Bio Binder 701, granulometria 8, prensagem a frio durante 8 h, rede a 1/2 da espessura

BB8_c4_f1/2 – Bio Binder 701, granulometria 8, prensagem a frio durante 4 h, rede a 1/2 da espessura

Ensaio e parâmetros

λ – Condutibilidade térmica

dp – Desvio padrão

DS – Dureza superficial

IB – Força de ligação interna perpendicular ao plano da placa

ρ – Massa volúmica

E_d – Módulo de elasticidade dinâmico

MOE – Módulo de elasticidade estático

MOR – Módulo de rotura

δ – Permeabilidade ao vapor de água

σ_{10} – Resistência à compressão a 10% de deformação

σ – Resistência à flexão

RS – Resistência superficial

ΔH – Variação do teor de água

DISSEMINAÇÃO DE RESULTADOS

Foi submetido a revista científica o artigo:

“Colas naturais para colagem de placas de derivados de madeira – Uma revisão”. Ciência e Tecnologia dos Materiais

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e enquadramento do tema

A sustentabilidade da construção, isto é, a construção que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (World Commission on Environment and Development, 1987), é cada vez mais uma prioridade a nível mundial. Nesse sentido, ao longo dos anos, diversos autores (Younquist *et al.*, 1993; Chow, 1974; Lertsutthiwong *et al.*, 2008; Khedari *et al.*, 2008; Stone, 2003) têm proposto o uso de diferentes produtos agrícolas, como o bagaço de cana, os cereais, a palha, as hastes e carolos do milho, as hastes de algodão, a casca e palha de arroz, as cascas e hastes de girassol, as hastes de bananeira, a casca de coco, o bambu e o óleo de folhas de palmeira.

Segundo a Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo, ANPROMIS (2014), o milho, *Zea mays*, é um dos cereais mais relevantes na economia da agricultura global. Em Portugal o milho foi introduzido por volta do século XVI e, desde então, tem feito parte do setor agrícola português; nos últimos anos tem ganho maior expressão. O carolo (parte resultante da espiga do milho depois de retirados os grãos) é um dos subprodutos da planta do milho e, para além de ser renovável, abundante e existir em grande quantidade neste país, possui a vantagem de ser considerado, geralmente, como um resíduo agrícola.

O tema desta dissertação surge com o interesse no desenvolvimento de novas soluções de produtos para a construção mais ecológicos e eficientes, nomeadamente materiais naturais, renováveis e locais, contribuindo, assim, na busca de uma construção mais sustentável, económica e ecológica.

Com este estudo pretende-se ainda contribuir para o aumento do conhecimento deste novo material, apresentando valores de referência para estudos futuros.

1.2. Objetivos e metodologia

Este trabalho tem como principal objetivo desenvolver placas à base de carolo de milho e de cola natural, que apresentem um bom comportamento térmico (e acústico), de modo a poderem ser utilizadas em revestimentos e camadas de isolamento de elementos construtivos como paredes, tetos e pavimentos.

Para atingir os objetivos realizou-se uma pesquisa bibliográfica extensa sobre o tema proposto, de forma a tomar conhecimento sobre as colas naturais existentes, o tipo de ensaios a realizar e as adaptações necessárias aos ensaios devido à inexistência de normas específicas para aplicação neste tipo de placas. Com base nos resultados obtidos realizou-se um planeamento sequencial do tipo de placas a fabricar.

Para o fabrico destas placas foi necessário desenvolver todo um processo de produção, visto não ser um produto muito estudado e não existirem equipamentos e métodos específicos para o desenvolvimento deste tipo de produtos. Foi necessário encontrar um processo de trituração eficaz, fabricar moldes para a conceção das amostras e propor um processo de fabrico prático e expedito. Depois de encontradas todas as soluções imprescindíveis ao processo de produção,

foram fabricadas placas com diferentes constituições, tendo como variáveis a dimensão das partículas de carolo de milho, o tipo de cola, a existência de fibras de reforço e as características da prensagem, nomeadamente pressão, temperatura e tempo de prensagem. Devido à limitação de materiais, de processos e de equipamentos disponíveis, foram produzidas placas de forma mais artesanal e em condições mais controladas, em laboratório. Em relação à cola natural, foram produzidas de forma artesanal colas constituídas por caseína e outras por farinha de trigo e foi utilizada uma cola comercial.

As placas fabricadas foram exaustivamente caracterizadas em termos físicos, mecânicos e térmicos. Não havendo normas específicas para este tipo de material, foram adotados documentos referentes a isolamentos térmicos.

Sempre que possível, tentou-se comparar as propriedades determinadas com as obtidas por outros autores e também com materiais de construção correntemente aplicados na construção.

1.3. Organização do texto

A dissertação encontra-se dividida em nove capítulos.

Neste primeiro e presente capítulo, **Introdução**, são apresentados o enquadramento do tema, a descrição dos objetivos estabelecidos, a metodologia utilizada e a organização do texto.

No segundo capítulo, referente às **Colas naturais**, é apresentado o estado atual do conhecimento sobre colas naturais, onde é feito um breve resumo sobre as principais colas deste tipo utilizadas na indústria, nomeadamente da madeira. São também apresentados alguns exemplos de materiais que estas colas aglutinam, bem como o modo de preparação da placa constituída por estes materiais e as suas características finais.

No terceiro capítulo, relativo ao **Carolo de milho**, é exposto o estado atual do conhecimento acerca deste resíduo. São apresentadas informações acerca do carolo como um resíduo agrícola, nomeadamente a produção mundial de milho, bem como o contexto agrícola nacional. Para além disso, são também descritas as características do carolo de milho e de placas fabricadas tendo este resíduo como matéria-prima.

A **Caracterização do carolo e dos granulados utilizados**, primeiro capítulo da campanha experimental desta dissertação, é feita no quarto capítulo e consiste na caracterização do carolo de milho utilizado nas placas, fazendo referência às suas características e ao processo de moagem e posterior análise granulométrica.

O quinto capítulo, designado por **Placas de carolo com colas naturais e fabrico artesanal**, consiste na execução de um novo molde e no fabrico de diversas placas com carolo e colas naturais feitas de forma artesanal, bem como os diversos ensaios realizados e os respetivos resultados de caracterização obtidos.

Quanto ao sexto capítulo, **Placas de carolo com colas naturais e fabrico laboratorial**, são apresentadas as características de placas fabricadas em laboratório, tendo em conta os melhores resultados referentes a cada tipo de cola obtidos no capítulo anterior e utilizando os mesmos procedimentos de ensaio.

No sétimo capítulo, **Placas de carolo com cola comercial e fabrico laboratorial**, consta o fabrico, em laboratório, de placas com carolo de milho e cola comercial considerada ecológica, bem como os diversos ensaios realizados e os respetivos resultados.

A **Discussão e comparação dos resultados** é feita no oitavo capítulo, onde são discutidos os resultados obtidos, comparando-os com os vários resultados dos ensaios realizados e, sempre que possível, com valores citados na bibliografia consultada, bem como com materiais de isolamento utilizados na construção.

Por fim, nas **Conclusões**, que constituem o nono capítulo, é apresentada uma síntese do trabalho desenvolvido, assim como algumas propostas para desenvolvimentos futuros para a continuidade e aprofundamento do estudo e desenvolvimento deste material.

Seguem-se as referências bibliográficas mencionadas e utilizadas ao longo do trabalho.

Em anexo apresentam-se as fichas técnicas utilizadas na campanha experimental, bem como as tabelas de resultados individuais obtidos em cada ensaio.

2. COLAS NATURAIS

2.1. Considerações gerais

Na atualidade procuram efetuar-se placas para aplicação em revestimentos e isolamento da construção com base em resíduos e subprodutos, de forma a baixar a energia incorporada (energia consumida durante a extração, processamento e transporte das matérias-primas e a fabricação dos materiais de construção e usada nos vários processos durante a construção e demolição do edifício (Ding, 2004)) neste tipo de placas. Os resíduos resultantes da indústria da madeira são um dos casos. No entanto, atualmente, as colas para aglutinação de resíduos de madeira são produzidas principalmente a partir de recursos não-renováveis (Hemmila *et al.*, 2013). As mais utilizadas nesta indústria são as colas sintéticas com base em formaldeído, tais como as de fenol-formaldeído (PF), ureia-formaldeído (UF) e melamina-ureia-formaldeído (MUF), derivadas de produtos petroquímicos não renováveis (Li *et al.*, 2004). O formaldeído é reconhecido como um produto químico tóxico e cancerígeno (El Mansouri *et al.*, 2007). Segundo Packham (2009), tanto a sua produção como o seu resultado de utilização estão associados, de algum modo, com a emissão de poluentes orgânicos. Assim, a sua emissão no meio ambiente e a exposição dos trabalhadores nas instalações de produção foi uma das principais preocupações de segurança (Keith e Telliard, 1979; Myers, 1986). O sintoma mais comum atribuído à emissão dos gases é a irritação dos olhos e do trato respiratório superior (Kim, 2009). A Organização Mundial de Saúde recomenda que a exposição não deve exceder os 0,05 ppm (3,72 mg / 100 g placa) de formaldeído (National Cancer Institute, 2004).

Tendo em conta estas considerações ambientais e de saúde, introduziram-se normas mais severas em relação à emissão de formaldeído de placas de derivados de madeira. Efetivamente a regulamentação nesta área, nomeadamente a norma NP EN 13986 (IPQ, 2010), que define um valor limite de 8 mg / 100 g placa, tem contribuído para melhorar significativamente este aspeto. Essas considerações, juntamente com o aumento dos custos de colas sintéticas derivadas do petróleo, intensificaram o interesse por colas ou produtos aglutinantes alternativos com base em materiais naturais, menos agressivos para o meio ambiente (Amaral-Labat *et al.*, 2008) e que possibilitem baixar ainda mais a energia incorporada no fabrico das placas para aplicação na construção.

O termo 'natural', muitas vezes utilizado para definir estas colas, refere-se somente aos materiais de origem natural, não mineral, que podem ser utilizados como tal ou após sofrerem pequenas modificações para reproduzir o comportamento e o desempenho das colas sintéticas. Assim, apenas um número limitado de materiais pode atualmente ser incluído no sentido mais estreito desta definição, destacando-se os taninos, as lenhinas, os hidratos de carbono e os óleos insaturados (Pizzi, 2006).

Com base em pesquisa bibliográfica, as colas naturais mais comumente utilizadas na indústria da madeira e afins serão de seguida descritas e caracterizadas. São também apresentados exemplos de materiais que estas colas aglutinam. Tratam-se principalmente de materiais de construção, particularmente para a utilização como placas de revestimento, sendo apresentado o modo de preparação do conjunto aglutinado/aglutinante e as características finais

das placas. As colas serão apresentadas de acordo com as características apresentadas pelos produtos aglutinados pelas várias colas, nomeadamente por ordem crescente de emissão de formaldeído, nos casos em que este é apresentado.

2.2. Taninos de acácia-mimosa e lenhina

Constituintes

Os taninos são uma alternativa possível aos compostos fenólicos derivados do petróleo. Estes compostos, obtidos a partir de recursos naturais, têm sido utilizados para a produção de colas para madeira desde 1970 (Tondi e Pizzi, 2009; Lei *et al.*, 2008; Pichelin *et al.*, 2006; Pizzi, 2003, 2006).

Estes compostos químicos podem ser divididos em taninos hidrolisáveis e taninos condensados. Estes últimos, que constituem mais de 90% da produção mundial de taninos comerciais, cerca de 200 000 toneladas por ano, são quimicamente e economicamente bastante interessantes para a preparação de colas (Pizzi, 2006). Vários autores (Tondi e Pizzi, 2009; Lei *et al.*, 2008; Pichelin *et al.*, 2006; Pizzi, 2003) demonstraram que os taninos condensados podem ser utilizados com êxito como substitutos de fenol na produção de colas de fenol-formaldeído.

Os taninos condensados possuem uma ampla distribuição na natureza, concentrando-se particularmente na madeira e na casca de várias árvores, nomeadamente *Acacia* (extrato da casca de acácia-mimosa), *Schinopsis* (extrato da madeira de quebracho), *Tsuga* (extrato da casca de cicuta), *Rhus* (extrato de sumagre) e *Pinus* (extrato da casca de várias espécies) (Pizzi, 2006). Este tipo de taninos pode ainda ser encontrado na casca da uva, tal como se verá mais à frente.

A extração industrial de taninos das cascas das árvores é normalmente um processo bastante simples, em que se usa água como solvente, na presença de uma base (carbonato de sódio) e de sulfito ou metabissulfito de sódio, a cerca de 80°C (Pizzi, 2003). Contudo, existem algumas dificuldades na utilização dos extratos de taninos das cascas de *Pinus*, em comparação com taninos de acácia-mimosa, por exemplo (Jorge *et al.*, 2002). Tais dificuldades podem ser explicadas pelo baixo rendimento da extração, baixos valores de Stiasny (relação gravimétrica entre o precipitado e os sólidos totais), viscosidade excessiva e qualidade de extratos variável (Yazaki e Collins, 1994). Note-se que as propriedades adesivas de colas derivadas de extratos de taninos parecem ser dependentes do seu conteúdo de poliflavonóides reativos com formaldeído, indicado pelos seus valores de Stiasny, que possuem um mínimo de 65% para a produção de uma cola de alta qualidade, dependendo dos métodos utilizados (Yazaki e Collins, 1994).

A abundância de diferentes tipos de lenhina como um resíduo proveniente de fábricas de celulose tem feito com que este produto seja muito atrativo para a preparação de colas (El Mansouri *et al.*, 2007). Vários autores, tais como Abe (1987), Feldman (2002), Lewis e Lantzzy (1989), Nimz (1983), Pecina e Kuchne (1995), Roffael e Dix (1991) e Shiraishi (1989), têm feito estudos acerca do uso da lenhina na preparação de colas para madeira, com bons resultados.

À semelhança dos taninos, a lenhina possui um carácter fenólico, que torna possível a substituição de fenol por lenhina em colas de fenol-formaldeído. A substituição de lenhina é muitas vezes limitada a 20% de fenol, para garantir as propriedades adesivas da cola. Contudo, uma percentagem mais elevada pode ser alcançada se a sua reatividade for quimicamente reforçada (Bertaud *et al.*, 2012). Note-se que, comparativamente com os taninos, a lenhina tem uma baixa reatividade com o formaldeído, tal como referem El Mansouri *et al.* (2007).

Caracterização

A extração dos taninos de acácia-mimosa pode ser feita através da secagem e moagem da casca, até se obterem partículas com diâmetro inferior a 3 mm, seguindo-se a extração de 100g de casca seca com 500 ml de solução aquosa (2% de ureia e 2% de sulfito), a 75°C durante 1 h, sob refluxo (Bertaud *et al.*, 2012).

Por outro lado, o processo de extração da lenhina tem como componente principal o licor de polpação de Kraft, proveniente das fábricas de celulose. Adiciona-se CO₂ gasoso a 35% (teor de sólidos) do licor negro durante 1 h a um caudal constante até atingir um pH de cerca de 7,8. Após a precipitação, recolhe-se o precipitado sólido por centrifugação e lava-se com 0,2% de uma solução sulfúrica, para remover produtos químicos residuais e hidratos de carbono solúveis, repetindo-se o processo para purificação da lenhina extraída (Bertaud *et al.*, 2012).

Após a extração dos componentes, prepara-se uma solução de tanino em água a uma concentração de 45% e ajusta-se o pH para 10,4 com NaOH a 33% da solução de água. Dissolve-se hexamina em água para formar uma solução a 30% e adiciona-se esta solução à de extrato de tanino na base de 5% de sólidos de hexamina em sólidos de extrato de tanino. Para finalizar a preparação desta cola, adiciona-se a lenhina glioxilada à solução de tanino para obter uma proporção de tanino:lenhina de 60:40 (w/w) (Bertaud *et al.*, 2012).

A cola de taninos de acácia-mimosa e lenhina tem um tempo de gelificação de cerca de 11 minutos e 40 segundos e a particularidade importante de possuir 94% (sólidos de cola seca) de material natural, não contendo quaisquer colas sintéticas (Bertaud *et al.*, 2012).

Aplicação

Bertaud *et al.* (2012) utilizaram a cola de taninos de acácia-mimosa e lenhina para a aglutinação de juntas de aglomerado de duas camadas, constituído por partículas de faia (*Fagus sylvatica*) e abeto da Noruega (*Picea abies*). O modo de preparação deste tipo de placa de madeira começa com a preparação de uma amostra com dimensões 350 x 310 x 14 mm³, em que as partículas devem ter um teor de humidade de 2%, utilizando-se 10% (w/w de partículas secas) de cola. Prensa-se a amostra com 2,8 MPa de pressão máxima e a 190-195°C, durante 7,5 min.

Bertaud *et al.* (2012) realizaram alguns ensaios a este tipo de placa, nomeadamente ensaios de análise termomecânica (TMA), de força de ligação interna perpendicular ao plano da placa (IB), neste caso de resistência da junta de cola (com base na norma EN 314-1:2004), e de emissão de formaldeído (com base na norma EN 717-3:1996). Os resultados foram os seguintes:

módulo de elasticidade estático (MOE) = 3300 MPa, IB = 0,53 MPa e emissão de formaldeído inferior a 0,1 mg / 100 g placa. Estes autores chegaram à conclusão que a placa cumpre os requisitos quanto à ligação interna, impostos pela norma europeia EN 314-2:1993 para placas para utilização no interior da construção, utilizados em meio seco (IB > 0,35 MPa). Consideraram ainda que a baixa emissão de formaldeído se deve à própria madeira, sendo que há uma diferença significativa quando se comparam estes valores com os das colas sintéticos (nomeadamente UF e MUF).

2.3. Amido de milho e taninos de acácia-mimosa

Constituintes

O amido de milho, obtido a partir de recursos renováveis, é um dos polímeros naturais mais abundantes, possuindo um baixo custo. Este polímero é amplamente utilizado em inúmeras aplicações industriais, nomeadamente como constituinte de colas para madeira para aplicações no interior (Imam *et al.*, 1999).

Caracterização

Segundo Moubarik *et al.* (2010), para preparar 500 g de cola de amido de milho e de taninos de acácia-mimosa, dissolvem-se 130 g de amido de milho em 200 ml de água desionizada (solução aquosa de amido de milho de 65% (p/v) de concentração) e agita-se à temperatura ambiente. De seguida, adicionam-se 13 g de tanino de acácia-mimosa à solução anterior. Dissolve-se hexamina (endurecedor) em água para um rendimento de 30% da solução de concentração em água e adiciona-se 5% (peso de teor de sólidos de tanino) desta à solução de amido de milho-tanino. Mistura-se a solução e adicionam-se 100 ml de hidróxido de sódio (33%). Por último, agita-se o aglutinante durante 45 minutos à temperatura ambiente.

Os mesmos autores apresentam ensaios e testes a este cola, nomeadamente caracterização reológica, análise termogravimétrica (TGA) e análise da fase sólida de RMN ¹³C. Analisando os resultados, concluem que esta cola possui uma excelente estabilidade estrutural, um carácter elástico e o comportamento reológico de um gel (Moubarik *et al.*, 2010).

Aplicação

Moubarik *et al.* (2010) utilizaram esta cola como aglutinante de aglomerado de partículas de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). Prepara-se uma amostra com dimensões 350 x 350 x 14 mm³, em que as partículas devem conter um teor de humidade de cerca de 3%, e utiliza-se 10% (w/w de partículas secas) de cola. Prensa-se a quente com uma pressão de 2,5 MPa a 170°C, durante 7,5 minutos e, por fim, condiciona-se a 25°C e 65% de humidade relativa numa sala climática durante uma semana (considerado o período de tempo mínimo para que se possam realizar ensaios à placa).

Os mesmos investigadores realizaram diversos ensaios para determinar as seguintes características: IB (com base na norma EN 319:1993), flexão estática, com base no módulo de

rotura (MOR) e no MOE (determinados de acordo com a norma EN 310:1993), a resistência ao arrancamento da camada superficial (com base na norma EN 311:2002) e a emissão de formaldeído pelo método do exsiccador (de acordo com a norma ISO/CD 12460-4). Os resultados foram: IB = $0,45 \pm 0,04$ MPa, MOR = $17 \pm 0,60$ MPa, MOE = 2307 ± 74 MPa, resistência ao arrancamento = $1,57 \pm 0,11$ MPa e emissão de formaldeído = $0,20 \pm 0,08$ mg / 100 g placa. Com base nestes valores, Moubarik *et al.* (2010) concluíram que estas placas possuem propriedades mecânicas comparáveis às feitas com colas de UF comerciais e que satisfazem as exigências de placas para aplicação interior utilizados em meio seco (P2), de acordo com a norma europeia EN 312:2003.

2.4. Taninos de bagaço de uva

Constituintes

A uva é uma das maiores culturas de frutas do mundo e o bagaço de uva é um dos resíduos gerados pelo processo de vinificação (Ping *et al.*, 2012). Este último, que é constituído principalmente por peles, mas também por sementes e caules, representa aproximadamente 20% (w/w) das uvas colhidas depois de espremidas (Laufenberg *et al.*, 2003).

Atualmente a maior parte do bagaço de uva não é comercializado. Apenas pequenas quantidades deste subproduto são valorizadas ou recicladas, através da recuperação dos compostos fenólicos, para utilização em medicamentos naturais, suplementos alimentares ou ingredientes alimentares nutri-funcionais (Guerrero *et al.*, 2008; Ruberto *et al.*, 2007; Spigno e De Faveri, 2007; Monrad *et al.*, 2010; Pinelo *et al.*, 2005; Vatai *et al.*, 2009). Na maioria dos casos, o bagaço é usado para a alimentação de animais ou como composto para fertilizar e melhorar o solo, sem qualquer pré-tratamento (Ping *et al.*, 2011). Contudo, estes resíduos sólidos ainda possuem elevados níveis de taninos condensados, devido à baixa extração durante a vinificação, o que representa um inconveniente para a sua utilização como alimento e o que pode originar potenciais problemas de poluição quando utilizado no solo (Ping *et al.*, 2011; Northup *et al.*, 1998). Por vezes, o bagaço de uva é ainda descartado em áreas abertas, podendo causar problemas ambientais (Northup *et al.*, 1998). Portanto, o bagaço de uva constitui uma fonte potencial muito abundante e relativamente barata para a produção de colas de tanino (Ping *et al.*, 2012).

Caracterização

Os taninos provenientes dos resíduos resultantes do processo de vinificação podem ser extraídos de diversas formas. Segundo Ping *et al.* (2012), seca-se o bagaço da uva (uva vermelha, *Vitis vinifera*) ao ar livre e trata-se com uma solução aquosa de 2,5% (w/w) de Na_2CO_3 e 2,5% (w/w) de Na_2SO_3 , com uma proporção de sólido-líquido de 1:8. De seguida, aquece-se a mistura a 100°C durante 120 minutos, num recipiente ligado por um condensador de água. Após o aquecimento, arrefece-se o bagaço, lava-se e filtra-se através de papel. Faz-se com que o líquido lavado seja evaporado, através de uma concentração moderada com recurso a um

evaporador rotativo a uma temperatura de 60°C, e, em seguida, liofilizado. Por fim, separam-se os resíduos sólidos e os taninos liofilizados e armazenam-se num congelador a -5°C até utilização.

Após a extração destes componentes, o modo de preparação da cola é relativamente fácil, sendo somente necessário preparar uma determinada concentração de solução de taninos e adicionar-lhe 5% de paraformaldeído em pó, em peso de extrato seco de taninos (Ping *et al.*, 2012).

Ping *et al.* (2012) realizaram diversos ensaios a estas colas de taninos de bagaço de uva, tais como: análise da fase líquida por RMN ¹³C, tempo de gelificação (T-gel), análise por espectro FT-IR e espectro de massa MALDI-TOF. Com estes ensaios é possível determinar as características da cola, nomeadamente um tempo de gelificação de 100 s, com pH 7.

É de realçar que este tipo de aglutinante possui uma elevada percentagem de material natural, mais precisamente 95% de taninos.

Aplicação

Ping *et al.* (2012) utilizaram a cola de taninos de bagaço de uva como aglutinante de aglomerado de partículas de faia (*Fagus sylvatica*) e abeto da Noruega (*Picea abies*). O fabrico de uma placa deste tipo começa com a preparação da amostra com dimensões 340 x 300 x 14 mm³, utilizando-se 10% (w/w de partículas secas) de cola, que, de seguida, se deve prensar com cerca de 3,6 MPa de pressão máxima, a 195°C e durante 7,5 min.

Foram realizados alguns ensaios, nomeadamente o ensaio de IB (com base na norma EN 312:2003), de TMA e de emissão de formaldeído (de acordo com a norma EN 717-3:1996). Os respetivos resultados foram: IB = 0,45 ± 0,06 MPa, MOE (a 195°C) = 3322,9 MPa e emissão de formaldeído = 2,01 ± 0,19 mg / 100 g placa. Analisando estes valores, pode-se concluir que o valor de IB cumpre as especificações padrão internacionais relevantes para placas para aplicação no interior (IB > 0,35 MPa) e a emissão de formaldeído também se encontra abaixo dos requisitos exigidos (Ping *et al.*, 2012).

2.5. Glúten de trigo (hidrolisado)

Constituintes

O glúten é uma proteína obtida como subproduto durante o isolamento de amido a partir de farinha de trigo e pode ser caracterizada como um material proteico visco-elástico coeso (Day *et al.*, 2006; Wieser, 2007).

Muitas pessoas são alérgicas a produtos de farinha que contêm glúten, pelo que este é extraído em grandes quantidades (Lei *et al.*, 2010). Em comparação com outras proteínas, o glúten de trigo é a fonte de proteína mais barata (Day *et al.*, 2006). Assim, devido à aplicação limitada desta proteína na produção de alimentos, ao baixo custo e, também, por ser um polímero natural, o glúten possui um elevado potencial de aplicação em colas ecológicas para madeira (Pizzi, 2006).

Para além dos aspetos económicos, a principal limitação das colas naturais é a baixa resistência à humidade (D'Amico *et al.*, 2013). Deste modo, para melhorar a resistência à água e também alargar as possibilidades de aplicação, podem ser utilizadas diferentes modificações, como, por exemplo, hidrólise ou desnaturação do glúten de trigo por adição de GdnHCl (hidroclorato de guanidina), tal como defendem vários autores (Nordqvist *et al.*, 2010; Khosravi *et al.*, 2010; Zhong, 2002; Huang e Sun, 2000).

Inicialmente, várias colas de glúten para placas de madeira foram preparadas e estudados e deviam ser aplicados em pó. No entanto, esta utilização era inadequada para a aplicação industrial em fábricas de aglomerado de madeira, onde o equipamento só consegue aplicar colas líquidas. Assim, surgiram colas de glúten aplicáveis na forma líquida, sem qualquer necessidade de modificações dos sistemas de aplicação em fábricas de produção de aglomerados (Lei *et al.*, 2010).

Caracterização

Para o processo de produção da cola de glúten de trigo não é necessária nenhuma extração específica dos componentes, pois o glúten é normalmente extraído em grandes quantidades para o fabrico de produtos alimentares sem glúten, tal como foi referido anteriormente.

Segundo D'Amico *et al.* (2013), o modo de preparação desta cola começa com a agitação constante de 10% (w/w) de suspensões de glúten de trigo. De seguida, ajusta-se o pH para 13 com uma solução de hidróxido de sódio concentrado (hidrólise alcalina) e aquecem-se as dispersões a 50°C durante 4 h. Pára-se a hidrólise pela neutralização de pH 7 com HCl concentrado. Por fim, seca-se o glúten de trigo hidrolisado obtido a 40°C sob vácuo e mói-se de modo a passar através de uma malha de 0,25 mm.

A respeito desta cola, D'Amico *et al.* (2013) realizaram alguns ensaios e testes, como a análise dinâmico-mecânica, através de um ensaio de flexão de 3 pontos, e o ensaio de determinação da viscosidade. Com base nos resultados deste último ensaio, sabe-se que a viscosidade desta cola é de $19,0 \pm 2,8$ mPa.s. Outra característica desta cola de glúten de trigo hidrolisado é a boa resistência à humidade, uma vez que possui um carácter hidrofóbico.

Uma das particularidades desta cola é o facto de possuir um baixo teor de sólidos comparativamente com outros aglutinantes.

Aplicação

D'Amico *et al.* (2013) preencheram com cola de glúten de trigo juntas sobrepostas entre placas, nomeadamente placas de faia, e o modo de fabrico começa com a preparação de placas com dimensões $(150 \pm 5) \times (20 \pm 1) \times (5 \pm 1)$ mm³. Homogeneizam-se as suspensões durante 20 minutos por agitação magnética e utilizam-se 200 g/m² para preencher as juntas. De seguida, prensa-se a amostra com uma pressão de $0,6 \pm 0,1$ MPa, a 120°C e durante 20 minutos e armazena-se a 20 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de humidade relativa durante um mês (considerado o período de tempo mínimo para que se possam realizar ensaios).

Os mesmos investigadores realizaram alguns ensaios a estas placas, nomeadamente o ensaio de resistência ao corte das juntas de sobreposição (com base na norma EN 204:2001), tendo obtido uma resistência entre 7,5 e 12 MPa. Com base nestes valores e na respetiva norma, concluíram que esta placa satisfaz as exigências relativas às classes de durabilidade D1 e D2 da norma, referentes a aplicações no interior.

2.6. Caseína

Constituintes

A caseína é o principal constituinte proteico do leite. Quando o leite azeda, separa-se em coalho e soro de leite. Por sua vez, o coalho, quando lavado e seco, forma a caseína que é comercializada (Madison, 1967).

A utilização da caseína na colagem de madeira é relatada como sendo uma técnica muito antiga, que parece ter começado na Suíça ou na Alemanha no século XIX (Madison, 1967).

Caracterização

A cola de caseína não requer uma extração química dos componentes como a maioria das colas. Apenas é necessário lavar e secar o coalho, que provém diretamente do leite azedo, tal como foi referido anteriormente.

O modo de preparação desta cola requer a preparação da caseína, com o intuito de esta ter um teor de gordura e de ácido baixos e ser livre de partículas queimadas ou descoloridas, odor azedo, larvas, vermes e outras matérias animais estranhas. De seguida, mói-se a caseína por forma a passar através de um peneiro com malha de 20 mm, mistura-se, por imersão, 100 partes (em massa) de caseína e 150 de água e agita-se mecanicamente durante 15 a 30 minutos. Mistura-se num recipiente 11 partes (em massa) de hidróxido de sódio e 50 partes de água e num outro recipiente 20 partes (em massa) de cal hidratada e 50 partes de água. Com um misturador mecânico em funcionamento, adicionam-se separadamente as misturas de hidróxido de sódio e de cal hidratada à caseína previamente dissolvida, respetivamente. Por último, agita-se a mistura final durante 15 a 20 minutos (Madison, 1967).

Em alternativa, existe caseína comercial em pó, com uma gama de aglutinantes com diferentes propriedades, consoante as necessidades, e em que apenas é necessário juntar água à mistura.

Esta técnica tem a particularidade de aparentar ser a mais antiga comparativamente com todos as outras colas mencionadas neste trabalho, sendo datada de 1967.

Madison (1967) menciona diversos ensaios referentes à cola, de entre os quais se destacam os ensaios de resistência à água, de durabilidade e de coloração dos materiais aglutinados pela cola. Os resultados destes ensaios permitem concluir que a cola de caseína possui uma boa resistência à água e ao bolor e uma vida útil aceitável. Estas características, combinadas com um baixo custo, tornam esta cola num produto muito atrativo. No entanto, a cola de caseína possui a desvantagem de descolorar algumas madeiras, nomeadamente o carvalho e o álcer.

Aplicação

A cola de caseína permite aglutinar facilmente madeira. De acordo com Madison (1967), o preenchimento de juntas entre placas de madeira é possível através da utilização de cerca de 317 g/m² de aglutinante. A prensagem da amostra é feita a frio, com cerca de 1,4 MPa de pressão, a aproximadamente 21°C (prensagem a frio) e durante cerca de 8 horas.

Este investigador refere vários ensaios, tendo determinado a resistência ao corte, segundo o método definido na norma ASTM DT 75-49, e concluído que as juntas resistem a imersão ocasional, mas não a ciclos de secagem-humedecimento.

2.7. Farinha de trigo

Constituintes

A farinha de trigo é muito utilizada para fazer pão, pelo facto de formar uma massa viscoelástica quando se adiciona água. Os grânulos de amido são naturalmente insolúveis em água fria, mas, por aquecimento, a estrutura cristalina é interrompida, devido à rotura de ligações de hidrogénio entre as hélices de amido, e ocorre a penetração de água nos grânulos (D'Amico *et al.*, 2010).

Este tipo de farinha consiste principalmente em amido. Para além da indústria alimentar, a maior quantidade de amido é utilizada para a produção de papel e cartão (Ashley *et al.*, 1995; Entwistle *et al.*, 1998). Apenas uma pequena quantidade, cerca de 5%, é utilizada para a produção de materiais de construção, segundo Leible (1996).

Caracterização

O processo de fabrico deste tipo de cola é muito simples, pois é apenas necessário misturar uma parte de farinha de trigo com duas de água e agitar magneticamente a suspensão durante cerca de 20 minutos (D'Amico *et al.*, 2010).

D'Amico *et al.* (2010) realizaram alguns ensaios utilizando esta cola, dos quais se destacam a calorimetria de varrimento diferencial e a micro viscoamilografia (MVA). Estes ensaios permitiram concluir que as propriedades aglutinantes desta cola são fortemente afetadas pelo tempo de cura.

Aplicação

Este tipo de cola permite aglutinar, por exemplo, compósitos de madeira, nomeadamente de abeto, através do preenchimento de juntas sobrepostas. Segundo D'Amico *et al.* (2010), para o fabrico de uma placa deste tipo devem ser utilizadas 200 g/m² de aglutinante e uma prensagem a quente, com uma pressão de $0,6 \pm 0,1$ MPa. A temperatura da prensagem deve aumentar progressivamente com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, começando nos 30°C e acabando nos 105°C, seguindo-se 5 minutos a 105°C e, por fim, 7 minutos a 60°C. Depois da prensagem, deve-se carregar a placa com pesos durante cerca de 4 h, de modo a evitar a deformação devido

ao elevado teor de água da cola. As amostras finais devem ser armazenadas durante 14 dias a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e a 65% de humidade relativa, até o teor de humidade atingir o equilíbrio.

Estes investigadores apresentam o resultado de diversos ensaios a esta placa, incluindo a resistência ao corte por tração da linha de união das juntas (com base na norma EN 302-1:2004) e o ensaio mecânico para alcançar a rotura das juntas utilizando uma máquina universal de tração com célula de carga de 20kN. Os resultados indicam uma resistência ao corte de cerca de 6 MPa, o que demonstra uma excelente força de ligação adesiva para aplicações no interior. De acordo com Konnerth *et al.* (2006), a resistência ao corte desta cola é semelhante à da caseína (cola natural) e da melamina-ureia-formaldeído e da fenol-resorcinol-formaldeído (colas sintéticas), quando fabricadas nas mesmas condições.

2.8. Farinha de soja

Constituintes

Segundo Jang *et al.* (2011), a soja é abundante, renovável, barata e fácil de obter. Ao longo dos últimos anos têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados várias colas à base de soja (Huang e Li, 2008; Li *et al.*, 2004; Liu e Li, 2002, 2004, 2006).

Uma das colas livre de formaldeído à base de soja mais utilizados para a produção de placas de madeira para aplicação no interior, desde 2004, é constituído principalmente por farinha de soja e uma pequena quantidade de um agente de cura, nomeadamente poliamida amina epiclóridrina (PAE) (Li *et al.*, 2004). No entanto, o PAE é derivado de produtos petroquímicos, sendo este o componente mais caro da cola à base de soja (Jang *et al.*, 2011).

Caracterização

O processo de fabrico da cola de farinha de soja possui duas fases, sendo a primeira a síntese do agente de cura (AC) em água. Nessa primeira fase, adicionam-se 88 g de hidróxido de amónio e 420 g de epiclóridrina (ECH) a 150 ml de água. Agita-se a mistura a 600 rpm, onde a temperatura aumenta progressivamente até 55°C e depois é mantida constante durante 30 minutos. Armazena-se o AC resultante à temperatura ambiente e, uma hora antes de ser utilizado, deve ser agitado e aquecido a 75°C . De seguida, deve-se proceder à segunda fase da preparação da cola. Adicionam-se sequencialmente 121 g (massa seca) de AC, 1533 ml de água e 145 g de uma solução de NaOH a 20% num misturador elétrico e mistura-se durante 1 minuto à temperatura ambiente. Por fim, adicionam-se 847 g (massa seca) de farinha de soja, com um teor de humidade de cerca de 7%, e mistura-se durante 5 minutos (Jang *et al.*, 2011).

Como se pode perceber, as propriedades aglutinantes da cola dependem fortemente da qualidade do agente de cura.

Aplicação

Segundo Jang *et al.* (2011), a cola de farinha de soja permite aglutinar, por exemplo, as várias camadas integrantes do contraplacado, constituídas por partículas de álamo amarelo, plátano, abeto branco e pinheiro. Para o fabrico desta placa utilizam-se 80 g/m² de aglutinante. Inicialmente, prensa-se a amostra a frio com cerca de 0,7 MPa de pressão, durante 5 minutos. De seguida, repousa-se 5 minutos e prensa-se com uma pressão de cerca de 1 MPa, a 120°C e durante 6 minutos.

Estes autores realizaram ensaios às amostras fabricadas, de que se destacam o teste de três ciclos saturados e o teste de dois ciclos de ebulição, tendo concluído que a placa em causa possui uma boa resistência à água e ao corte a seco. Note-se que apesar da boa resistência à água do material, os investigadores apenas a ensaiaram para aplicações no interior.

2.9. Óleo de rícino

Constituintes

Segundo vários autores (Mothé e Araújo, 2000; Mahapatra e Karak, 2004; Trevino e Trumbo, 2002; Xie e Guo, 2002), os óleos vegetais têm demonstrado um grande potencial para a produção de diferentes tipos de colas poliméricas.

A partir das sementes da planta de rícino (*Ricinus communis*) é possível extrair o denominado óleo de rícino, muitas vezes também designado por óleo de mamona. É possível fazer reagir este óleo com um isocianato aromático, diisocianato de difenilmetano (MDI), que polimeriza a frio, produzindo uma cola de poliuretano termoendurecível (Azambuja e Dias, 2006). Enquanto o MDI é de origem petroquímica, 50 a 75% da cola é proveniente da planta de óleo de rícino e, por isso, com base em origem vegetal (Wechsler *et al.*, 2013).

A cola pode ser misturada e curada à temperatura ambiente. Considera-se que não é agressiva para os seres humanos nem para o ambiente e que tem uma boa resistência à radiação ultravioleta e à água, o que a torna particularmente atrativa para aplicações em ambientes húmidos, como instalações sanitárias e cozinhas. Para além disso, considera-se que as placas fabricados com esta cola possuem um impacto ambiental muito inferior aos convencionais com produtos aglomerantes mais correntes (Wechsler *et al.*, 2013).

Caracterização

Para o processo de fabrico desta cola, é necessário primeiramente proceder à extração do óleo de rícino, através de uma extratora de óleo a frio. Este processo começa com a prensagem das sementes, com o auxílio de um êmbolo, várias vezes até atingir o maior rendimento possível. De seguida, recolhe-se o óleo resultante (à temperatura ambiente) e filtra-se através de tecido de algodão, para uma maior purificação e retirada dos grãos maiores (Cherchiari, 2013).

Depois de se extrair o óleo de rícino, adicionam-se lentamente 120 g de óleo e 78,3 g de MDI num balão em atmosfera dinâmica de nitrogénio. Para finalizar, removem-se (ou diminuem-

se) as quantidades de água e oxigénio com o auxílio de um sistema adaptado, mantido em agitação a 60 rpm, a 28°C e durante 45 minutos (Cherchiari, 2013).

Segundo Cherchiari (2013), a cola possui um tempo de gelificação de cerca de 3 minutos, um tempo de cura lento e a síntese da cola depende fortemente da qualidade do óleo. Para além disso, uma grande desvantagem desta cola é o elevado custo do MDI.

Aplicação

Relativamente às possíveis aplicações da cola de óleo de rícino, Cherchiari (2013) menciona a sua utilização para aglutinar ripas de eucalipto maculata (*Corymbia maculata*), seringueira (*Hevea brasiliensis*) e cupressus (*Cupressus lusitânica Mill*). Para tal, utiliza-se a cola nas duas faces de cada ripa, para uma maior eficiência de colagem, com cerca de 250 g/m², e prensa-se com cerca de 200 MPa de pressão, durante 48 horas e à temperatura ambiente. Após o fabrico, as amostras devem ser mantidas em condições controladas, a 22°C e 50% de humidade relativa, durante 10 dias, até ao fim do tempo de cura da cola.

Este investigador ensaiou as ripas quanto à resistência ao corte, segundo a norma ASTM D 905-08, e concluiu que o comportamento do aglutinante depende do tipo de madeira em que é aplicado, influenciando diretamente a resistência ao corte do material.

2.10. Furano

Constituintes

É importante referir que esta cola não é considerada como um cola natural, mas que é comparável com estas, tal como se verá de seguida.

Tendo em conta as tendências atuais para uma minimização de materiais à base de petróleo, o furfural é uma opção atrativa para substituir o formaldeído na formulação de colas para madeira (Rivero *et al.*, 2014).

O furfural pode ser facilmente obtido a partir de resíduos agrícolas, tais como a cana-de-açúcar, o milho e o trigo. O potencial de rendimento do furfural como matéria-prima, expresso em termos de kg de furfural por toneladas métricas de biomassa seca, é de 220 para carolo de milho, 170 para bagaço de cana, 160 para talos de milho, 160 para cascas de girassol e 150 a 170 para madeiras de folhosas (Mamman *et al.*, 2008).

O processo comercial para a produção de furfural baseia-se na utilização de um reator contínuo, no qual a hemicelulose é tratada com ácido, com o intuito de a converter em xilose, que por sua vez é desidratada e convertida em furfural. Contudo, existem algumas desvantagens inerentes a este processo, tais como: dificuldade na separação dos produtos da reação, riscos de corrosão e produção de grandes quantidades de resíduos de neutralização (Mamman *et al.*, 2008). Toda esta complexidade de questões leva a que o furano seja uma cola relativamente cara e considerada atualmente como puramente sintética (Pizzi, 2006).

O furfural é considerado como um produto inofensivo à camada de ozono e não tão tóxico como o formaldeído (Rivero *et al.*, 2014). Deste modo, as colas de furano podem ser

consideradas uma boa alternativa às colas fenólicas, possibilitando ter um material com uma excelente resistência térmica e oxidativa, tal como as colas fenólicas proporcionam, mas com uma significativa redução das emissões de formaldeído (Rivero *et al.*, 2011).

Caracterização

Mamman *et al.* (2008) apresentam o método de extração do furfural a partir de carolo de milho. Inicialmente, esmaga-se o carolo até ter dimensões entre 3 e 10 mm. De seguida, coloca-se esse carolo em ácido sulfúrico e introduz-se num reator de aço. Filtra-se o vapor saturado de furfural para remover as partículas sólidas e condensa-se o vapor por arrefecimento a 60°C. Por último, submete-se a solução de furfural condensado a destilação azeotrópica, em que o condensado se separa em duas camadas (a camada superior corresponde à água e a inferior ao furfural refinado).

O processo de fabrico desta cola tem como principais componentes o álcool furfurílico (AF), proveniente do furfural, e o anidrido maleico (AM), usado como catalisador de ácido para induzir a polimerização de AF. Este processo começa com a dissolução do AM em água, numa solução aquosa a 50%. De seguida, misturam-se o AM e o AF numa proporção em peso de AF/AM=100/2 a 40°C, sob agitação mecânica vigorosa. Por fim, prepara-se a mistura do AF e AM e, num reator, aquece-se cerca de 200 ml, a 110°C e durante 30 min, agitando-se continuamente a mistura (Guigo *et al.*, 2010).

2.11. Síntese

Com base na análise bibliográfica efetuada verifica-se que as colas naturais estão em constante desenvolvimento e a sua aplicação definitivamente em expansão. Para além destas colas poderem aglutinar resíduos vegetais, os seus componentes podem também ser obtidos a partir de resíduos ou subprodutos, nomeadamente da indústria alimentar (por exemplo resíduos dos silos de cereais, caseína e glúten), da indústria de papel e celulose (lenhina) e da agricultura (bagaço de uva e carolo de milho).

Tendo em conta a disponibilidade dos componentes e o modo de preparação destas colas naturais, considera-se que as colas de caseína e de farinha de trigo aparentam potencial para serem desenvolvidas e aplicadas na produção de placas com base em resíduos vegetais para aplicação em revestimentos e/ou camadas de isolamento térmico e acústico. O interesse industrial nestes produtos é cada vez maior, tendo sempre em conta a sua aceitação em termos ambientais, bem como a sua viabilidade técnica e económica.

3. CAROLO DE MILHO

3.1. Carolo como resíduo agrícola

Os cereais constituem um dos setores agrícolas mais importantes a nível mundial e, segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO, 2014), o milho representa a segunda cultura mais produzida em todo o mundo.

De acordo com a Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (ANPROMIS, 2014), os EUA contribuem com cerca de 50% da produção mundial de milho e a França é o país que se apresenta como o maior produtor da União Europeia. Na Figura 3.1 é apresentado um gráfico onde se podem observar os países que mais contribuem para o desenvolvimento deste setor agrícola.

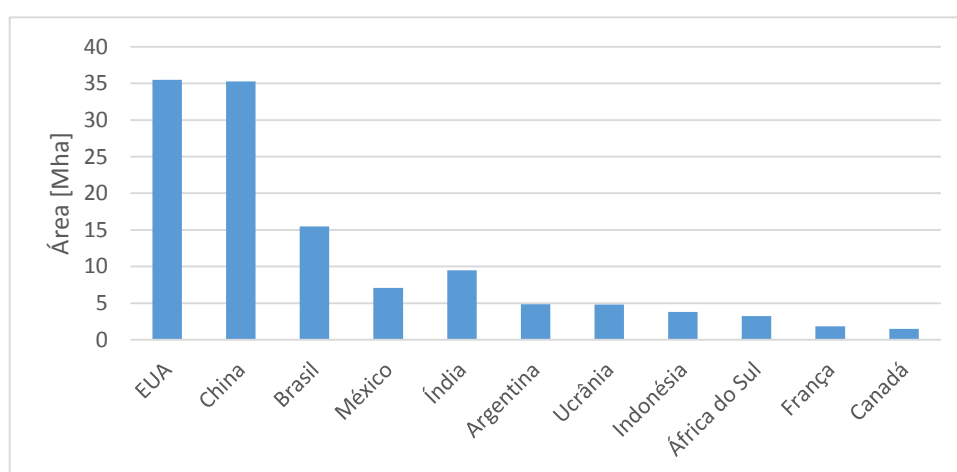


Figura 3.1 – Área de plantação mundial de milho em 2013, por país (FAOSTAT, 2014)

Em Portugal o milho foi introduzido por volta do século XVI e, desde então, tem feito parte do setor agrícola português. Segundo a ANPROMIS (2014), esta é a cultura arvense mais importante a nível nacional. Na Figura 3.2 é apresentado um gráfico onde se pode observar a evolução da área de plantação desta cultura.

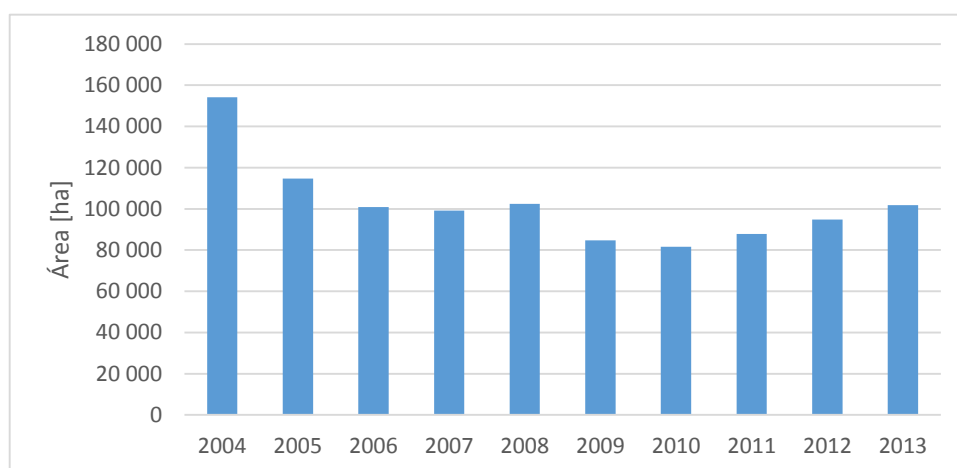


Figura 3.2 – Evolução da área de plantação de milho em Portugal (ANPROMIS, 2014)

Através desta figura, observa-se que Portugal enfrentou uma tendência de diminuição da área de plantação de milho, mas que, nos últimos três anos, esta cultura tem ganho maior expressão e aumentou significativamente, sendo que em 2013 a área de plantação foi ligeiramente superior a 100 000 hectares.

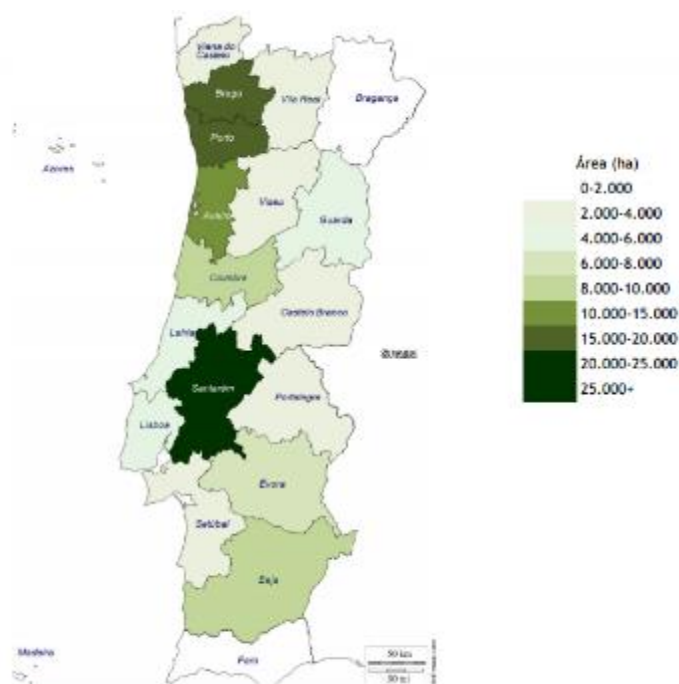


Figura 3.3 – Distribuição por distrito da área de plantação de milho em Portugal em 2013 (ANPROMIS, 2014)

Tal como se pode observar na Figura 3.3, as áreas de plantação de milho a nível nacional encontram-se, basicamente, no norte e centro do país.

Em Portugal, a plantação do milho inicia-se no final do inverno, podendo-se alongar por toda a primavera, e a colheita é feita posteriormente no final do verão.

Os principais constituintes da planta do milho são o folhelho, o carolo e o milho, que se podem observar na Figura 3.4. É de salientar que estes termos diferem de região para região, sendo que no Norte do país usam o termo caroço em vez de carolo.

Ao contrário do milho, que é utilizado como ração animal ou para a indústria da panificação, o carolo não tem nenhuma aplicação específica, sendo, por isso, considerado como um resíduo, que muitas vezes é queimado, contribuindo desta forma para o aumento da quantidade de CO₂ na atmosfera. Segundo a ANPROMIS (2014), cada hectare de milho produz aproximadamente 2 toneladas de carolo. Considerando que em 2013 se cultivaram cerca de 100.000 hectares, Portugal teve um potencial de produção anual de 200.000 toneladas de carolo. Assim, embora seja um resíduo sazonal, o carolo é produzido em grandes quantidades, o que torna viável a sua implementação na produção de materiais aplicados na construção.

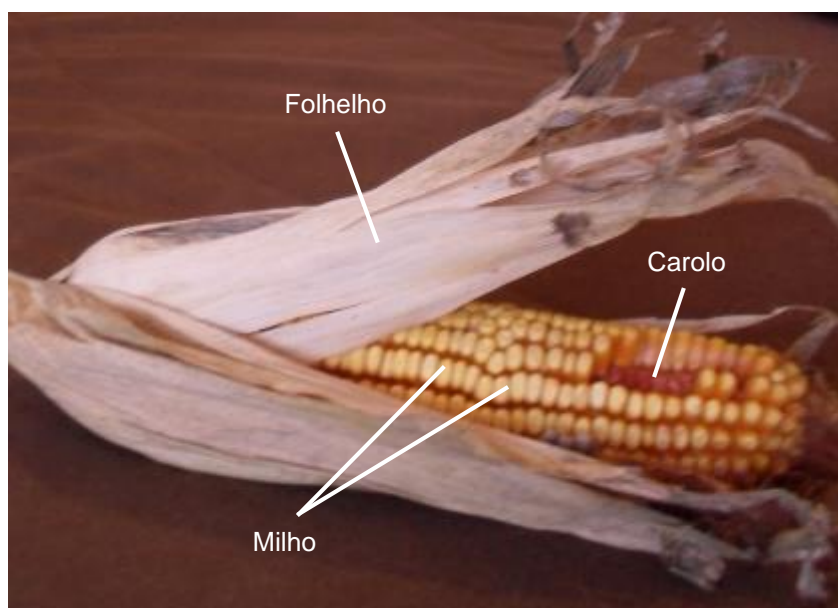


Figura 3.4 – Identificação de alguns constituintes da planta do milho

Em suma, tendo em conta a grande quantidade de áreas de plantação de milho a nível nacional, bem como a nível mundial, e o problema da queima do carolo, a possibilidade de aplicações inovadoras para este resíduo agrícola poderá resultar num produto alternativo acessível e sustentável, bem como num impacto benéfico a nível ambiental.

3.2. Caracterização do carolo

Segundo Pinto *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2012a), em termos de macroestrutura, o carolo de milho é constituído por três camadas distintas, claramente perceptíveis pela sua cor, textura, forma e massa volúmica. Estas camadas estão ilustradas na Figura 3.5, onde é possível observar as diferenças entre elas, e foram conseguidas com o recurso a uma lupa binocular *Olympus SZX12*, presente na Figura 3.6. A camada interior (I) é esponjosa e tem uma massa volúmica baixa. Por outro lado, a camada intermédia (II) tem a maior massa volúmica das três camadas e aparenta ter uma capacidade resistente semelhante à de uma madeira leve. Por último e não menos importante, a camada exterior é muito heterogénea e tem uma massa volúmica baixa.

Quanto à microestrutura, Pinto *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2012a) também defendem a existência de três camadas diferentes. A camada interior (I) apresenta uma microestrutura alveolar normal, em que os alvéolos têm uma forma geométrica regular, possuem paredes finas e estão preenchidos com ar. Este tipo de microestrutura tende a dissipar-se do interior para o exterior do carolo, ou seja, da camada I para a III.

Pinto *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2012a) estudaram a composição química elementar do carolo e concluíram que este possui, por ordem decrescente de percentagem presente na sua composição, oxigénio (O), silício (Si), alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e ferro (Fe).

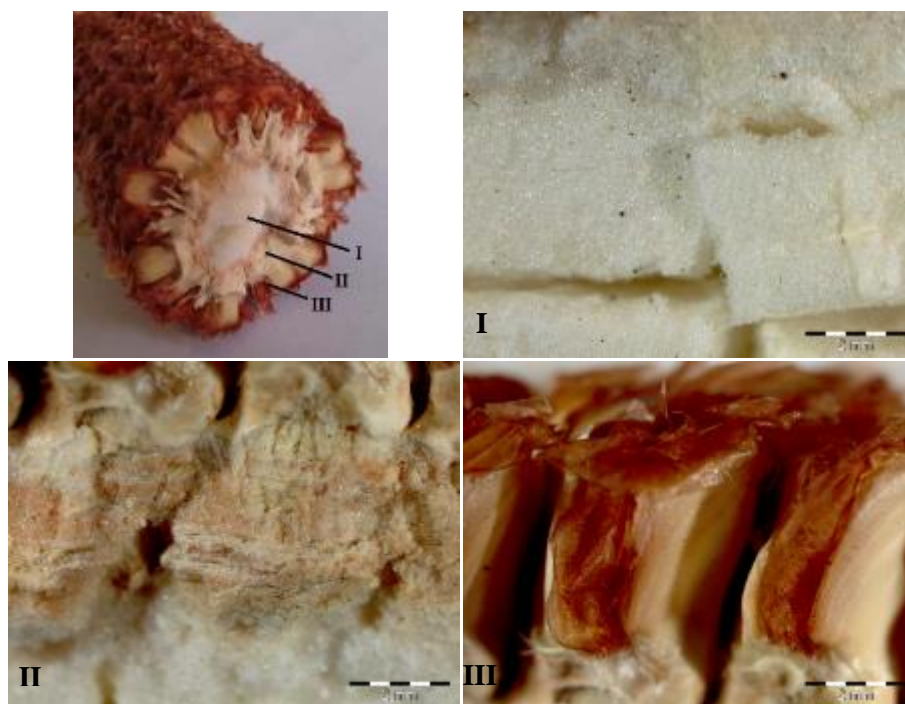


Figura 3.5 – Camadas constituintes do carolo



Figura 3.6 – Lupa binocular *Olympus SZX12*

Quanto à massa volúmica deste material, Pinto *et al.* (2012a) obteve um valor médio de cerca de 212 kg/m^3 , com um coeficiente de variação de 22,4%, que é expectável considerando a heterogeneidade característica do material. Tal como foi referido anteriormente, a camada intermédia (II) é a principal responsável por este valor de massa volúmica. Note-se que, no ensaio de determinação desta propriedade física, se utilizaram carolos fragmentados, com dimensões de cerca de 45 cm^3 .

De acordo com Cruz (2011) e Pinto *et al.* (2012a), o carolo necessita de mais de 15 dias para ficar saturado, dependendo do tamanho de cada amostra, e tem, por isso, um processo de

saturação lento. Este autor concluiu que o material em estudo possui um bom comportamento à água, pelo facto de apresentar uma boa resistência à permeabilidade à água, por requerer bastante tempo até ficar saturado e pelo facto das amostras se encontrarem íntegras após a realização do ensaio. No entanto, segundo estes autores, este resíduo parece ter uma capacidade de absorção de água impressionante, com um valor médio de 327%. Este facto indica que o carolo possui um processo de saturação progressiva devido à sua composição e microestrutura, através da existência de uma porosidade aberta. Assim, concluiu-se que o carolo pode ter uma resistência à água aceitável para certas aplicações construtivas.

No que toca à resistência ao fogo, Cruz (2011) e Pinto *et al.* (2012a) concluíram que este material é inflamável e possui uma combustão muito lenta e progressiva, pois ao fim de cinco minutos de ensaio, apesar de ter perdido matéria, ainda se encontrava pouco destruído. Este processo de combustão é caracterizado por chama e emissão de fumo negro.

Zhang *et al.* (2012) estudaram a distribuição granulométrica de partículas de carolo moídas com recurso a um moinho de facas e obtiveram uma dimensão média das partículas de 0,56 mm. Por outro lado, Chen *et al.* (2010) relataram valores entre 1 e 2 mm. Note-se que estes valores correspondem a carolos de milho da China e que, segundo Zhang *et al.* (2012), as diferenças entre os resultados podem resultar da utilização de diferentes equipamentos e procedimentos de moagem.

Quanto ao teor de água, Zhang *et al.* (2012) obtiveram um valor de cerca de 6,4% referente a partículas de carolo. Contudo, estes autores mencionam que valores diferentes deste podem ser decorrentes de diferenças nos procedimentos de recolha e armazenamento, bem como do uso de técnicas diferentes para a determinação do teor de água.

Zhang *et al.* (2012) também determinaram a baridade destas partículas, com dimensões entre os 0,106 e os 0,925 mm, e obtiveram um valor de cerca de 282 kg/m³. No entanto, os autores afirmam que podem ser obtidos valores diferentes deste, resultantes da utilização de diferentes equipamentos e procedimentos de moagem ou devido a variações na distribuição da dimensão das partículas.

Quanto à porosidade, Zhang *et al.* (2012) obtiveram um valor de cerca de 68%. Segundo Igathinathane *et al.* (2010), a porosidade das amostras depende de vários fatores, incluindo a distribuição da dimensão das partículas e a forma destas, bem como o método utilizado para a determinação desta característica.

3.3. Uso do carolo na construção

Adesanya (1996, 2000, 2001) e Adesanya e Raheem (2009) estudaram a utilização de cinzas de carolo de milho como uma pozolana na produção de cimento, tendo como vantagem a redução de custo e da energia incorporada do cimento.

Panthapulakkal e Sain (2007) analisaram o potencial de placas compósitas de madeira e plástico, mais conhecidos como *wood plastic composites*, utilizando resíduos de carolo de milho como uma fonte valiosa de fibra. Estas fibras de carolo podem ser usadas como um suplemento

ou mesmo como um substituto direto para fibras de madeira utilizadas no fabrico destes compósitos.

Carvalho *et al.* (2008), Martinho *et al.* (2009), Pinto *et al.* (2009) e Pinto *et al.* (2011) estudaram a técnica de construção tradicional portuguesa denominada por tabique, na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, na parte nordeste de Portugal. Este tipo de construção não é exclusivo desta região, mas a sua densidade concentra-se sobretudo no norte do país. Grande parte da construção existente foi feita nos séculos XVIII e XIX e, em muitos dos edifícios, foi utilizada uma mistura de carolo de milho e terra como material de enchimento dos elementos de madeira das paredes exteriores de tabique. O carolo de milho foi utilizado inteiro, sem qualquer recurso a meios de trituração, tal como se pode observar na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Paredes de tabique antiga com incorporação de carolo de milho (Pinto *et al.*, 2011)

Cruz (2011) desenvolveu um material à base de granulado de carolo de milho, através da aplicação conjunta do carolo com cola branca comercial à base de acetato de polivinila, PVA. O autor concluiu que este granulado de carolo aparenta ter um potencial aceitável como material de isolamento térmico e de isolamento acústico, tendo, por isso, interesse como isolamento em caixas de ar de paredes duplas, revestimento de paredes interiores ou tetos ou, mesmo até, para a conceção de paredes divisórias ou tetos falsos.

Pinto *et al.* (2012b) e Pinto *et al.* (2012c) estudaram o potencial da aplicação de granulado de carolo de milho como agregado para argamassa ou betão leve para fins não estruturais, tais como camadas de regularização / enchimento. Os agregados utilizados são dos tipos granulado, obtido através do recurso a um moinho de martelos, e fatiado, conseguido através da utilização de uma tesoura de poda.

Pinto *et al.* (2012a), Paiva *et al.* (2012), Faustino *et al.* (2012) e Scatolino *et al.* (2013) também estudaram e avaliaram o potencial de aglomerados constituídos por carolo de milho e cola sintética para possível aplicação como camada de revestimento ou mesmo como solução para paredes ou tetos falsos, à semelhança de Cruz (2011). Scatolino *et al.* (2013) avaliaram a viabilidade da utilização de carolo de milho para a produção de painéis aglomerados, utilizando 0, 25, 50, 75 e 100% deste material associado com partículas de madeira de *Pinus oocarpa*,

sendo que, para efeitos deste trabalho, se consideraram apenas os painéis feitos com 100% de carolo. Sekaluvu *et al.* (2013) investigaram ainda os fatores que afetam as propriedades e a produção dos aglomerados de carolo de milho.

Não foram encontrados registos de estudos efetuados em materiais constituídos por carolo de milho e colas de origem natural.

3.4. Caracterização das placas de carolo e cola sintética

Tal como foi referido anteriormente, alguns autores desenvolveram e estudaram materiais aglomerados constituídos por carolo de milho e cola sintética, para possível aplicação como camada de isolamento térmico e/ou acústico.

Cruz (2011) utilizou diferentes quantidades de partículas de carolo de milho, trituradas num moinho de martelos, e de cola branca, dependendo da espessura da placa a fabricar e seguindo o “bom senso”. Este autor seguiu o seguinte procedimento: misturar as partículas e a cola, colocar a mistura nos moldes, deixar secar à temperatura ambiente durante alguns dias até se encontrar praticamente seca e, por fim, desmoldar, deixando à temperatura ambiente até secar totalmente.

Pinto *et al.* (2012a), Paiva *et al.* (2012) e Faustino *et al.* (2012) também utilizaram um processo de fabrico semelhante, que consiste num traço de 1:4 (cola : partículas de carolo de milho), em termos de massa, e inclui quatro fases principais. Estas fases consistem em misturar as partículas de carolo e a cola de madeira, moldar a placa, curar “ao natural”, em condições térmicas e higrométricas controladas, e desmoldar.

Por outro lado, Scatolino *et al.* (2013) produziram painéis com 8% de ureia-formaldeído e 1% de parafina, em massa seca de partículas, utilizando, na prensagem, uma pressão de cerca de 3,9 MPa e uma temperatura de 160°C por um período de 8 minutos.

Sekaluvu *et al.* (2013) também desenvolveram aglomerados, utilizando diferentes quantidades de cola e partículas de diferentes dimensões, mas estes foram prensados com uma pressão de 10 MPa e durante 17 h, seguindo-se um tempo de secagem de 3 dias.

No Quadro 3.1 ao Quadro 3.3 é possível observar algumas das características das placas feitas com carolo de milho e cola sintética descritas anteriormente, obtidas pelos referidos autores.

Para efeitos de avaliação do potencial das placas de carolo de milho e cola sintética para aplicação como isolamento térmico e acústico, é importante referir que:

- Apesar dos valores de condutibilidade térmica obtidos pelos autores serem muito superiores aos do XPS e do EPS, definidos no ITE 50 (2006) como 0,037 e 0,040 W/(m.°C), respetivamente, o processo de fabrico destas placas ainda está em investigação e ainda pode ser otimizado, pois não são ainda produtos industrializados. Deste modo, considera-se que os valores obtidos são aceitáveis e que, por isso, podem vir a constituir um produto promissor a nível de isolamento térmico.

- O valor do índice de redução sonora obtido por Cruz (2011), 30 dB referentes a uma placa com 3 cm de espessura (Figura 3.8), comparativamente com outros materiais de isolamento

Placas para a construção com base em carolo de milho

acústico, tais como materiais naturais, como o aglomerado de cortiça e a celulose, e tradicionais, como a lã de vidro, que possuem, respetivamente, um ΔL_w de 17, 22 e 31 relativamente a 2 cm de espessura (Asdrubali, 2007), considera-se ser um bom resultado. Note-se que os valores não são diretamente comparáveis, devido à diferente espessura implícita na determinação dos respetivos valores, mas, no entanto, corrobora a ideia de que as placas feitas com carolo de milho têm uma capacidade de isolamento acústico aceitável.

Há ainda que referir que os resultados quanto ao comportamento à água sugerem que estas placas de carolo de milho são adequadas, apenas, para aplicações interiores.

Quadro 3.1 – Algumas características das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por outros autores

Características	Cruz (2011)	Paiva <i>et al.</i> (2012) e Faustino <i>et al.</i> (2012)	Scatolino <i>et al.</i> (2013)	Paiva <i>et al.</i> (2012)	Pinto <i>et al.</i> (2012a)	Sekaluvu <i>et al.</i> (2013)
Massa volúmica (kg/m ³)	374	334	650	-	-	Entre 386 ± 49,96 e 723 ± 34,65
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,117	-	-	0,101	0,139	-
Resistência à flexão (MPa)	3,65	-	1,8	-	-	Entre 0,32 ± 0,14 e 1,50 ± 0,16
Módulo de elasticidade estático (MPa)	-	-	281	-	-	Entre 5,89 ± 6,00 e 61,82 ± 10,09
Coesão interna (MPa)	-	-	0,3	-	-	-

Quadro 3.2 – Comportamento à água das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por outros autores

Características	Cruz (2011)	Scatolino <i>et al.</i> (2013)	Sekaluvu <i>et al.</i> (2013)
Comportamento à água	Amostras desintegram-se rapidamente após o contacto com a água ou ascensão capilar de 4 a 6 cm	<p>Após 2 h de imersão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absorção de água ≈ 44%; - Inchamento da espessura ≈ 19% <p>Após 24 h de imersão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absorção de água ≈ 100%; - Inchamento da espessura ≈ 32% 	Mau

Quadro 3.3 – Algumas características complementares das placas de carolo de milho e cola sintética caracterizadas por Cruz (2011)

Características	Cruz (2011)
Resistência à compressão ^{a)} (MPa)	4,21
Comportamento ao fogo ^{b)}	Combustão muito lenta (só a face exposta 5 min. à chama apresentou combustão)
Comportamento ao envelhecimento ^{c)}	Não sofreu qualquer alteração
Resistência ao impacto ^{d)}	Sem perda
Índice de redução sonora - ΔL_w (dB)	30
Impacto ambiental de 1 m ² com 3 cm espessura (kg de CO ₂ eq)	0,80

^{a)} Até à rotura das amostras; ^{b)} Utilizando como fonte de calor um maçarico durante 5 minutos; ^{c)} Amostras sujeitas a doze ciclos de gelo/degelo com um diferencial de temperatura entre -20 e 100°C

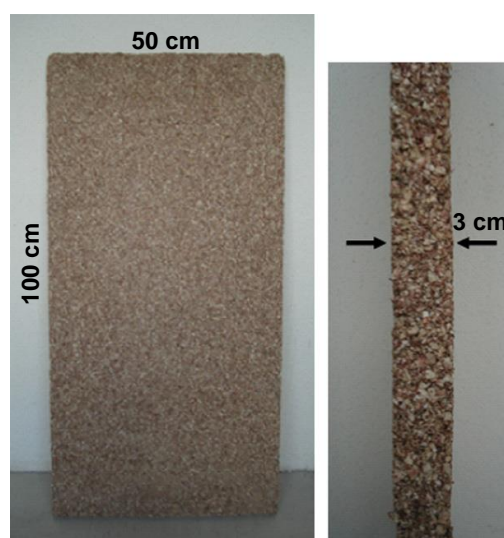


Figura 3.8 – Amostra da placa de carolo de milho proposta como uma solução de isolamento acústico (Faustino *et al.*, 2012)

3.5. Comparação do carolo com outros materiais utilizados na construção

Cruz (2011), Pinto *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2012a) analisaram o potencial do carolo de milho para aplicação como um produto de isolamento térmico e acústico, comparando-o com materiais frequentemente utilizados na construção civil em Portugal para este fim, como o

poliestireno extrudido (XPS), poliestireno expandido (EPS), aglomerado de cortiça e argila expandida. No Quadro 3.4 são apresentadas as características de cada material.

Quadro 3.4 – Características dos materiais [Cruz (2011), Pinto *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2012a)]

Características	Carolo de milho	XPS	EPS	Granulado de cortiça	Argila expandida
Origem	Natural e orgânico	Sintética	Sintética	Natural e orgânico	Base natural com produção artificial
Macroestrutura	Heterogéneo	Homogéneo			
Microestrutura	Alveolar com forma regular, constituída por paredes finas e o espaço interior preenchido por ar				
Composição química elementar	O, Si, Al, K, Ca, Mg, Na e Fe	O, Si, Al, K, Ca, Mg, Na, Fe, F e Ti	O, Al, Ca e Mg	O, Si, Ca, Na, Cl e F	O, Si, Al, K, Ca, Mg, Na, Fe e Ti
Massa volúmica (kg/m³)	212	25-40	10-25	100-350	275-430
Absorção de água (%)	327	13	34	244	36
Resistência ao fogo	Chama; combustão; emissão de gases; tempo para combustão total = 5 min.	Chama; combustão; emissão de gases; tempo para combustão total = poucos segundos	Chama; combustão; tempo para combustão total = poucos segundos	Chama; combustão; emissão de gases; tempo para combustão total = 5 min.	Intacto após 5 min.
Comportamento ao envelhecimento	Não sofreu qualquer alteração	Sofreu retração	Sofreu grande retração	-	-
Temperatura superficial (°C)	18-21	21	-		

Note-se que a microestrutura da camada I do carolo é semelhante à dos restantes materiais.

Analisando o Quadro 3.4, é possível perceber que o carolo de milho e a cortiça são muito semelhantes, nomeadamente no que toca à origem, microestrutura, massa volúmica, absorção de água e resistência ao fogo. O carolo possui ainda características semelhantes ao XPS, como a microestrutura, composição química elementar e temperatura superficial. Estas conclusões reforçam a ideia de que o uso de material com base em carolo de milho no sector da construção é uma possibilidade promissora.

3.6. Síntese

Tendo em conta a grande disponibilidade de carolo de milho em todo o mundo, considerado como resíduo resultante da produção de milho, e as suas características, este material aparenta ter potencial para ser utilizado na construção. As suas semelhanças com alguns dos materiais utilizados usualmente nesta área como isolamentos térmicos ou acústicos reforçam a possibilidade de utilização do carolo de milho para este fim.

Com base na análise bibliográfica efetuada verifica-se que os produtos de carolo de milho e cola sintética estão em desenvolvimento e a sua aplicação definitivamente em expansão. As placas já estudadas aparentam ter um comportamento térmico aceitável, um bom comportamento acústico e um comportamento à água razoável para aplicações interiores, tendo em conta que ainda não são produtos industrializados.

4. CARACTERIZAÇÃO DO CAROLO E DOS GRANULADOS UTILIZADOS

A campanha experimental deste trabalho tem como principal objetivo a caracterização de placas feitas com carolo de milho e colas naturais. Deste modo, foram fabricadas placas de carolo de milho contendo oito colas artesanais e uma cola comercial, tendo sido caracterizadas posteriormente através da realização de ensaios não destrutivos e destrutivos.

Pretendem-se placas que possam vir a ser fabricadas, através de processos industriais o mais simples possível e também menos consumidores de energia. Pretende-se ainda que as placas apresentem um bom comportamento térmico e acústico, de modo a poderem ser utilizadas em camadas de revestimento ou isolamento de elementos construtivos como paredes, tetos e pavimentos. Do ponto de vista acústico, pretende-se que as placas apresentem superfície pouco regular em textura, associada à porosidade aberta e textura fibrosa dos grânulos de carolo.

O carolo de milho utilizado nesta campanha foi fornecido, em grande parte, pela ANPROMIS, conforme o que lhes foi disponibilizado pelos produtores.

O carolo foi moído no Departamento de Estruturas do LNEC e peneirado em frações granulométricas distintas nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL. As colas, os moldes e os provetes foram realizados nos Laboratórios de Construção da FCT/UNL mas maioritariamente na residência da autora desta dissertação. Todos os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL, exceto os ensaios de teor de água e adsorção de água do carolo e de suscetibilidade à contaminação biológica das placas, que foram realizados na Unidade de Prevenção da Biodeterioração do Departamento de Estruturas do LNEC.

Quando não são apresentados ao longo do texto, todos os resultados individuais dos ensaios realizados podem ser consultados no Anexo A.

4.1. Massa volúmica do carolo

A massa volúmica do carolo de milho foi determinada segundo dois métodos diferentes, um utilizado para carolos inteiros e outro para carolos fragmentados. Em ambos os casos foi usada uma amostragem constituída por dez carolos, Figura 4.1, previamente secos em estufa até atingirem massa constante.

Desprezou-se a possível influência da água nos ensaios, isto é, menosprezou-se o facto de o carolo estar seco e, por isso, poder absorver água quando é ensaiado, uma vez que os registos dos valores foram feitos rapidamente, logo após a colocação em água.

Quanto ao **carolo inteiro**, foi usado o método da impulsão hidrostática sobre corpos imersos. Para este método é válido o princípio de Arquimedes: *“todo o corpo mergulhado num fluido em repouso recebe da parte deste uma impulsão vertical, de baixo para cima, igual ao peso do volume do fluido deslocado”*. Assim, este ensaio consistiu em pesar os carolos secos e posteriormente imersos em água. Para tal, utilizou-se uma balança com precisão de 0,001 g e seguiu-se o seguinte procedimento experimental: pesaram-se os carolos, de modo a obter-se a massa seca de cada um deles; pesaram-se três massas de chumbo e um fio de nylon,

posteriormente utilizados para manter o carolo submerso; imergiu-se o conjunto (carolo + massas de chumbo + fio de nylon) num recipiente com água, garantindo que este não tocava em nenhuma das paredes do recipiente e que estava totalmente submerso, e pesou-se (Figura 4.2).



a) Carolos inteiros



b) Carolos fragmentados

Figura 4.1 – Amostras de carolo de milho



Figura 4.2 – Pesagem hidrostática do conjunto

Tendo em conta que a massa volúmica do carolo é a razão entre a sua massa seca e o seu volume, expressa na Equação 1, e que, segundo este método, o volume deste é igual à diferença entre a massa seca do conjunto e a massa do conjunto imerso, é possível determinar o valor médio e respetivo desvio padrão desta característica.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Equação 1

ρ – Massa volúmica [kg/m^3]; m – Massa do carolo [kg]; V – Volume do carolo [m^3].

Por outro lado, a massa volúmica do **carolo fragmentado** foi obtida através da utilização de uma proveta cheia de água e da visualização do volume deslocado após a submersão do carolo de milho. Para este ensaio foi utilizada uma proveta com uma precisão de 5 ml, bem como uma balança com precisão de 0,001 g, e seguiu-se o seguinte procedimento experimental: pesaram-se os carolos, de modo a obter-se a massa seca de cada um deles; colocou-se uma massa de chumbo e um fio de nylon dentro da proveta com água e mediu-se o acréscimo de volume associado a estes materiais (Figura 4.3 a)); introduziu-se o conjunto (carolo + massa de chumbo + fio de nylon) na proveta com água e voltou-se a medir o acréscimo de volume associado a este conjunto (Figura 4.3 b)).



a) Medição do volume deslocado pela massa de chumbo e o fio de nylon



b) Medição do volume deslocado pelo conjunto

Figura 4.3 – Fases do ensaio de determinação da massa volúmica de carolo fragmentado

Sabendo que a massa volúmica do carolo é a razão entre a sua massa seca e o seu volume, definida na Equação 1, e que, segundo este método, o volume deste é igual à diferença entre o volume deslocado pelo conjunto e o deslocado pelo massa de chumbo e o fio de nylon, é possível determinar o valor médio e o respetivo desvio padrão desta característica.

No Quadro 4.1 são apresentadas as médias e os desvios-padrão do carolo inteiro e do carolo fragmentado, desprezando o valor mais baixo e o mais alto de ambos. Comparando as médias da massa volúmica verifica-se que há uma pequena diferença, possivelmente devido à maior precisão do ensaio de determinação da massa volúmica do carolo inteiro, com a pesagem hidrostática do carolo, em relação ao ensaio do carolo fragmentado, com a medição do volume deslocado.

Quadro 4.1 – Massa volúmica do carolo

Amostra de carolo	Massa volúmica (kg/m ³)	
	Carolo inteiro	Carolo fragmentado
1	511,70	318,77
2	379,27	329,95
3	379,44	339,32
4	429,33	335,36
5	434,84	406,96
6	332,66	387,75
7	368,86	403,92
8	361,27	416,50
9	379,78	365,40
10	377,21	369,20
Média	388,75	367,23
dp	27,55	30,56

4.2. Dureza superficial das camadas de carolo – Durómetro

Tal como referido anteriormente, o carolo de milho possui três camadas com características distintas, visíveis na Figura 4.4 a), sendo que, ao tato, a camada interior é facilmente deformável. Com o intuito de quantificar a resistência à deformação, procedeu-se à determinação da dureza superficial destas camadas.

Segundo a norma ASTM D 2240-05 (ASTM, 2010), a determinação da dureza superficial baseia-se na medição da penetração de uma agulha existente na extremidade do durómetro (Figura 4.4 b)). Este aparelho indica a resistência de penetração, que se traduz no movimento do ponteiro ao longo de uma escala de 0 a 100 Shore A.



a) Carolo partido ao meio



b) Durómetro Shore A (PCE Group)

Figura 4.4 – Provete e equipamento do ensaio de determinação da dureza superficial do carolo

O procedimento deste ensaio foi o seguinte: partiu-se manualmente um carolo ao meio e, de seguida, pressionou-se o durómetro Shore A em cada camada do carolo e registou-se o valor obtido. Repetiu-se este processo até se obterem três valores para cada camada.

Os valores obtidos neste ensaio, em termos de valores médios e desvios-padrão, foram 6 ± 1 Shore A e 89 ± 5 Shore A para as camadas de carolo interior e intermédia, respetivamente. Tal como perceptível ao tato, a camada intermédia possui uma dureza superficial muito superior à camada interior. Quanto à camada exterior, não foi possível determinar nenhum valor, pois a camada é muito folhosa e, por isso, o durómetro Shore A não consegue registar.

4.3. Moagem do carolo

Para a moagem do carolo recorreu-se a um processo mecânico, através da utilização de um moinho picador elétrico *Retsch SM 2000*, ilustrado na Figura 4.5.

De modo a otimizar este processo de moagem mecânica, experimentaram-se diferentes números de passagem no moinho: moeu-se o carolo apenas com uma passagem, com duas passagens consecutivas e com três passagens no moinho.



Figura 4.5 – Moinho picador *Retsch SM 2000*

4.4. Análise granulométrica

De modo a estudar as diferentes distribuições granulométricas obtidas pelo diferente número de passagens no moinho, realizou-se uma análise granulométrica com base na utilização de diferentes peneiros. Esta análise foi realizada pelo método de peneiração segundo a norma EN 1015-1 (CEN, 1998), utilizada normalmente para avaliar as propriedades geométricas de agregados de argamassas, usando peneiros adequados à dimensão da amostra.

O procedimento experimental deste ensaio teve as seguintes etapas: retirou-se uma amostra do granulado de carolo de milho obtido com uma passagem no moinho; esquarelouse a amostra, para permitir uma melhor homogeneização e obter uma amostra representativa; peneirouse a amostra através do recurso a peneiros da série principal e secundária; efetuouse a pesagem do material retido em cada peneiro numa balança com precisão de 0,001 g; repetiu-se o processo até se obterem pesagens de três amostras para cada número de passagens no moinho.

No Quadro 4.2 apresentam-se os peneiros utilizados nesta análise e a respetiva abertura da malha.

Quadro 4.2 – Peneiros e respetiva malha usados na análise granulométrica

Designação do peneiro	Abertura da malha (mm)
3/4"	19,1
1/2"	12,7
3/8"	9,52
nº 4	4,76
nº 8	2,38
nº 16	1,19
nº 30	0,595
nº 50	0,297
nº 100	0,149
nº 200	0,075

Na Figura 4.6 é apresentada a gama de dimensões para cada número de passagem no moinho, sendo que 1P, 2P e 3P significam, respetivamente, uma, duas e três passagens no moinho.

Na Figura 4.7 é possível observar a constituição de cada número de passagens no moinho.

Para o objetivo deste trabalho, no qual se pretendem placas de isolamento térmico (e acústico) resistentes de espessura relativamente pequena (alguns centímetros), não facilita granulometrias com partículas muito grandes, como o que acontece com apenas uma passagem (1P). Assim, analisando o gráfico e tendo em conta o consumo energético e o tempo despendido, considera-se que a moagem ótima ocorre quando o carolo passa duas vezes pelo moinho (2P), uma vez que se considera que três passagens no moinho (3P) origina partículas mais finas, como se pretende, mas, comparativamente com 2P, não compensa o tempo e a energia gasta em mais uma passagem no moinho.

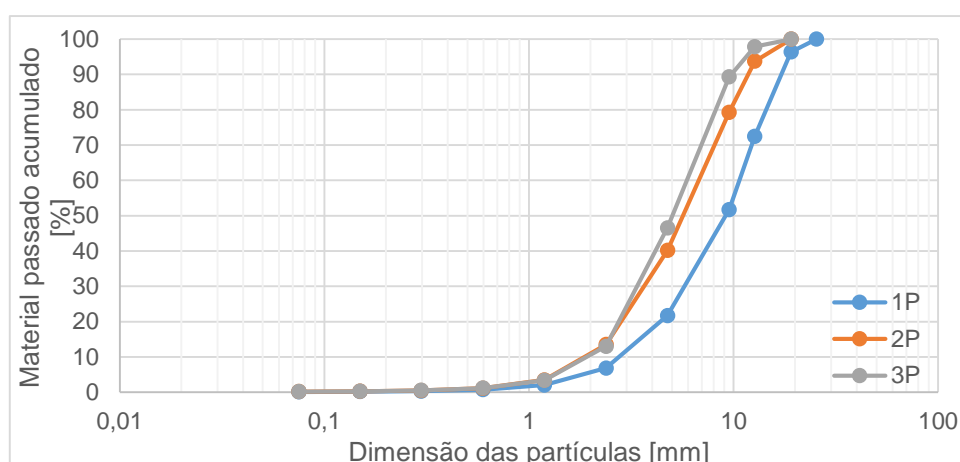


Figura 4.6 – Curva granulométrica das partículas de carolo de milho obtidas mecanicamente



a) 1P



b) 2P



c) 3P

Figura 4.7 – Dimensão das misturas das diferentes passagens no moinho

4.5. Teor de água das partículas de carolo

Para determinar o teor de água das partículas resultantes de cada número de passagens no moinho, foi utilizada a norma NP 614 (IPQ, 1973), referente à determinação desta característica em madeiras. Desta forma, retirou-se uma amostra representativa de 1P, 2P e 3P, apresentadas na Figura 4.8, e pesou-se numa balança com precisão de 0,001 g. De seguida, colocaram-se as amostras numa estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante, deixaram-se a arrefecer no exsiccador e pesaram-se novamente na balança de precisão referida anteriormente. Note-se que se considera que a amostra atingiu massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas intervaladas de 2 h for inferior a 0,5% da massa da amostra.

O teor de água das amostras de carolo obtidas pelas várias passagens no moinho foi determinado segundo a Equação 2, sendo por definição o quociente, expresso em percentagem, da massa de água que se evapora da amostra por secagem pela massa da amostra depois de seca.

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

Equação 2

H – Teor de água [%]; m_1 – Massa da amostra húmida [g]; m_2 – Massa da amostra seca [g].



Figura 4.8 – Amostras de 1P, 2P e 3P

Os valores determinados para o teor de água foram de 16,9%, 18,5% e 17,3% para 1P, 2P e 3P, respetivamente. Aparentemente a moagem (e a dimensão das partículas resultantes) não teve interferência direta no teor de água obtido.

Foi igualmente determinada a adsorção de água das mesmas amostras, depois de secas em estufa a 103°C e obtida a massa seca, foram mantidas 5 dias (5d) à temperatura ambiente, pesadas e depois colocadas numa câmara climática a $24 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 5\%$ de humidade relativa durante cerca de 1 mês – 36 dias. Após este período, as amostras atingiram massa constante como demonstrado pelos valores obtidos nas pesagens em dois dias consecutivos (dias 35 e 36).

Na Figura 4.9 é apresentada a evolução do teor de água das partículas de carolo obtidas pelas diferentes passagens no moinho, desde a determinação inicial após a moagem do carolo, secagem em estufa e recuperação dos valores de teor de água em equilíbrio. Verifica-se que não existe grande variação com o número de passagens no moinho e respetiva dimensão das partículas.

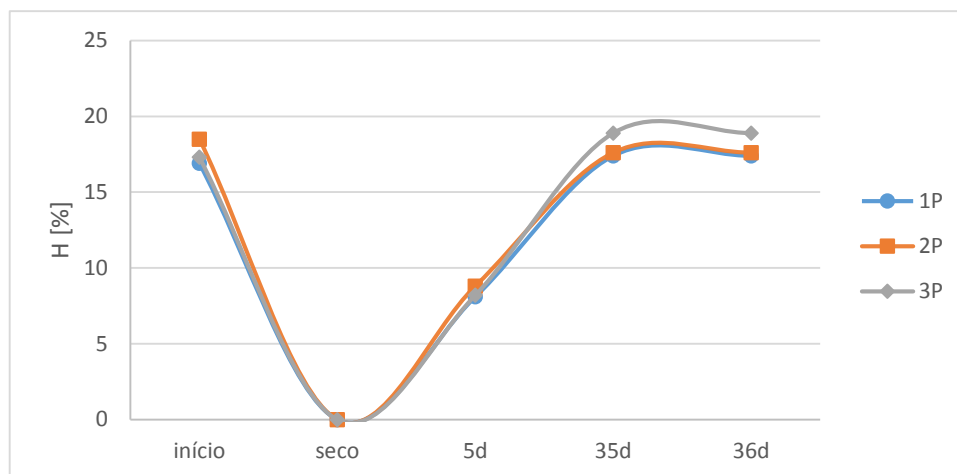


Figura 4.9 – Teor de água inicial e evolução do teor de água após secagem

4.6. Baridade das partículas de carolo

A baridade foi determinada com base na norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002), referente a agregados. Esta característica é calculada a partir da massa seca de partículas que preenchem um recipiente de capacidade conhecida.

Depois de realizados todos os ensaios inerentes ao diferente número de passagens no moinho, misturam-se todas granulometrias e peneiraram-se utilizando os peneiros do Quadro 4.3, sendo que as partículas passadas no peneiro nº 8 foram ensaiadas todas juntas por se considerar que a baixo deste peneiro há muito pouca quantidade e não se justifica separá-las. Assim, a baridade foi determinada para as frações apresentadas na Figura 4.10.

O procedimento experimental foi o seguinte: colocaram-se as frações na estufa até se atingir massa constante; pesou-se o recipiente vazio e limpo numa balança com precisão de 0,1 g; preparou-se o sistema de colocação das partículas dentro do recipiente, presente na Figura 4.11, que consistiu na colocação de um tabuleiro por baixo do recipiente de modo a evitar perdas de material, e de um funil, apoiado num suporte, a cerca de 7 cm de altura do recipiente; colocou-se o material a ensaiar no funil, tapando a base até este ficar cheio; destapou-se a base e deixou-se cair o material por gravidade para dentro do recipiente até este transbordar; removeu-se o excedente e nivelou-se a superfície com uma régua; voltou-se a pesar o recipiente; repetiu-se o processo até se obterem três pesagens para cada fração.

Utilizou-se um recipiente de 1 l para todas as dimensões, exceto para o material retido no peneiro 3/4", em que se usou um recipiente de 0,75 l, devido à pequena quantidade existente. Note-se que o volume exato dos recipientes foi determinado.

A baridade das várias frações foi determinada pela Equação 3:

$$\rho_b = \frac{m_{m+r} - m_r}{V_r}$$

Equação 3

ρ_b – Baridade [kg/m^3]; m_{m+r} – Massa do recipiente com o material [kg]; m_r – Massa do recipiente vazio [kg]; V_r – Volume do recipiente [m^3].

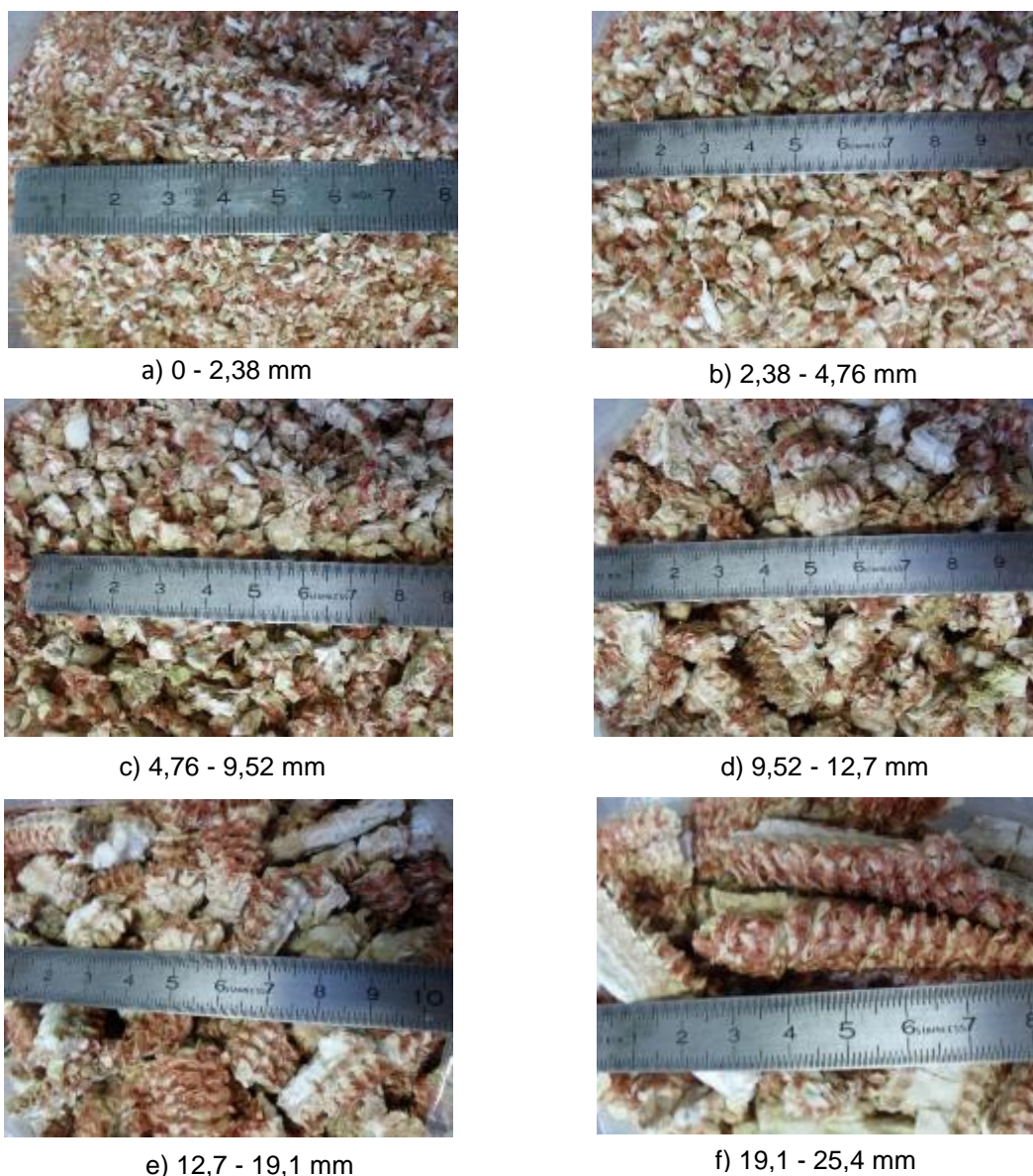


Figura 4.10 – Dimensão das várias frações de carolo

Na Figura 4.12 são apresentados os valores médios e os desvios-padrão da baridade de cada fração.

Analisando a Figura 4.12, percebe-se que as maiores baridades, inclusive semelhantes, ocorrem para frações com dimensões entre 4,76 e 9,52 mm e 9,52 e 12,7 mm.

A baridade também foi determinada para misturas de frações. Decidiu-se estudar duas misturas em que o peneiro nº 4, com uma malha de 4,76 mm, serve de separação das duas, isto é, o que fica retido neste peneiro constitui uma mistura e o que passa constitui outra. Estas misturas, apresentadas na Figura 4.13, foram criadas com o intuito de serem fáceis e práticas, uma vez que nas indústrias quanto mais rápido e fácil for o processo de preparação da matéria-prima, melhor. Assim, como se pretende simular um caso que facilite se utilizado na indústria e tendo em conta que a moagem ótima é a correspondente a duas passagens (2P) no moinho,

optou-se por usar proporcionalmente as percentagens de cada fração obtidas nessa moagem, tal como se pode observar no Quadro 4.4.

No que toca à baridade das duas misturas “industriais”, denominadas como mistura fina (mf), com dimensões entre 0 e 4,76 mm, e mistura grossa (mg), com gama de partículas entre 4,76 e 19,1 mm, obtiveram-se, em termos de valores médios e desvios-padrão, $159,27 \pm 3,95 \text{ kg/m}^3$ e $189,77 \pm 1,65 \text{ kg/m}^3$, respetivamente.

Quadro 4.3 – Peneiros e respetiva malha usados na determinação da baridade

Designação do peneiro	Abertura da malha (mm)
3/4"	19,1
1/2"	12,7
3/8"	9,52
nº 4	4,76
nº 8	2,38



Figura 4.11 – Ensaio de determinação da baridade do carolo de milho

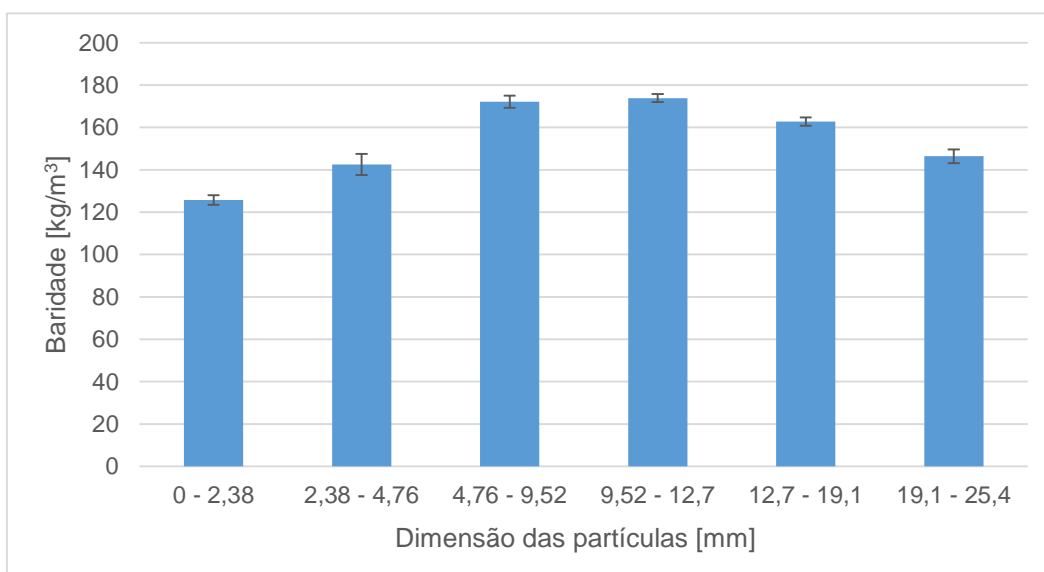


Figura 4.12 – Baridade das frações de carolo



a) 0 - 4,76 mm



b) 4,76 - 19,1 mm

Figura 4.13 – Frações das partículas das misturas “industriais” de carolo (contínuas)

Quadro 4.4 – Percentagens das frações das misturas “industriais”

Mistura	Dimensão das partículas (mm)	% da fração em 2P	% na mistura
0 - 4,76	0 - 2,38	13,5	33,6
	2,38 - 4,76	26,7	66,4
4,76 - 19,1	4,76 - 9,52	39,1	65,4
	9,52 - 12,7	14,5	24,2
	12,7 - 19,1	6,3	10,4

4.7. Síntese

O carolo inteiro possui uma massa volúmica de $388,75 \pm 27,55 \text{ kg/m}^3$, enquanto que o carolo fragmentado possui $367,23 \pm 30,56 \text{ kg/m}^3$. Esta diferença de valores deve-se possivelmente devido à maior precisão de um ensaio em relação ao outro.

Por outro lado, ficaram muito evidentes as três camadas com características distintas que o carolo de milho possui, nomeadamente com diferentes durezas superficiais.

Com vista ao desenvolvimento de isolamento e revestimento que se pretende realizar, a moagem ótima do carolo é conseguida com duas passagens no moinho picador *Retsch SM2000*. Desta moagem resultam partículas de diversas dimensões, sendo possível fazer várias misturas.

5. PLACAS DE CAROLO COM COLAS NATURAIS E FABRICO ARTESANAL

5.1. Molde

Para a realização das placas foi necessário o desenvolvimento e fabrico de um molde com as dimensões adequadas e que permitisse uma moldagem e desmoldagem expedita e prática.

Deste modo, adotou-se um molde em metal, com uma área útil de cerca de 10 cm x 20 cm e uma altura útil de aproximadamente 3 cm. As peças constituintes deste molde são diferentes, como se pode observar na Figura 5.1, em que as laterais possuem uma espessura de 0,2 cm, enquanto a base e o topo possuem 0,4 cm.

De modo a facilitar o processo de prensagem, foi criado um sistema para manter a pressão, quer dizer, foram criados quatro furos nas laterais do molde onde, após a prensagem até ao limite inferior dos furos, se colocaram parafusos de modo a manter constante ao longo do tempo pretendido a pressão imposta, sem ser necessária a utilização permanente do equipamento de prensagem, tal como se pode observar na Figura 5.1.



Figura 5.1 – Molde em metal para o fabrico artesanal

5.2. Constituintes e prensagem

Após a demonstração da viabilidade da produção de placas feitas com carolo de milho, foram fabricadas diversas placas utilizando cola de farinha de trigo, cola de caseína e ainda cola de farinha de trigo, clara de ovo e vinagre. Nesta fase, apenas se fez uma placa de cada conjunto de variáveis e as decisões quanto à sequência de placas foram sofrendo algumas modificações consoante a obtenção dos resultados, de modo a seguir o melhor caminho.

Para cada variável utilizou-se uma quantidade de carolo de cerca de 222 g e uma quantidade de cola igual.

O fabrico da cola de farinha de trigo (**F**) foi baseado em pesquisa bibliográfica, nomeadamente D'Amico *et al.* (2010). Para este trabalho, tendo em conta os produtos disponíveis, utilizou-se farinha de trigo tipo 65 sem fermento. O procedimento de fabrico consistiu na mistura de uma parte de farinha com duas de água e na homogeneização desta durante cerca de 20 minutos por agitação mecânica, utilizando uma batedeira elétrica doméstica corrente. As quantidades de cada ingrediente encontram-se especificadas no Quadro 5.1.

Tendo em conta o procedimento de fabrico da cola de farinha de trigo, produziu-se uma cola contendo farinha de trigo, tal como a anterior, mas também clara de ovo e vinagre (**FEV**). A justificação do uso desta cola advém do facto de esta ser uma receita antiga (segundo

Placas para a construção com base em carolo de milho

informação oral), que defende a utilização da clara de ovo para melhorar o comportamento à água e o vinagre como antifúngico.

Quadro 5.1 – Constituição das placas de fabrico artesanal

Identificação das placas	Tipo de cola	Quantidade de cada ingrediente	Dimensão das partículas de carolo	Tipo de prensagem	Tempo de prensagem	Rede				
C8_c8	Caseína	(58 g caseína + 88 g água) + (6 g hidróxido de sódio+ 29 g água) + (12 g cal hidratada + 29 g água))	nº 8	frio	8 h	-				
C8_c4			4 h							
C4_c8			8 h							
C4_c4			mistura até nº 4 (inc.)		4 h	1/2 da espessura				
C4_c4_f1/2							1/3 da espessura			
C4_c4_f1/3										
Cmg_c4_f1/2						1/2 da espessura				
Cmf_c4_f1/2			mistura após nº 4							
F8_h0.5	Farinha de trigo	74 g farinha + 148 g água	nº 8	quente (e frio)	7,5 min (aumentando 10°C/min de 30 a 105°C) + 30 min a 105°C + 7 min a 60°C (+ 4 h)	-				
FH38_c4	Farinha de trigo + hidróxido de sódio	74 g farinha + 138 g água + (3 g hidróxido de sódio + 10 g água)		nº 4	frio	4 h	1/2 da espessura			
FH34_c4			nº 8							
FH38_c4_f1/2			nº 4							
FH34_c4_f1/2			mistura até nº 4 (inc.)							
FH3mg_c4_f1/2			mistura após nº 4							
FH3mf_c4_f1/2										
FEV8_h0.5	Farinha de trigo + clara de ovo + vinagre	74 g farinha + 148 g água + 1 clara ovo + 1 colher sopa de vinagre	nº 8	quente (e frio)	7,5 min (aumentando 10°C/min de 30 a 105°C) + 30 min a 105°C + 7 min a 60°C (+ 4 h)	-				
FEV8_c4	Farinha de trigo + clara de ovo + vinagre + hidróxido de sódio	74 g farinha + 119 g água + 1 clara ovo + 1 colher sopa de vinagre + (6 g hidróxido de sódio + 29 g água)		frio (cola a quente)	4 h		1/2 da espessura			
FEVH68_c4		74 g farinha + 138 g água + 1 clara ovo + 1 colher sopa de vinagre + (3 g hidróxido de sódio + 10 g água)	nº 4			frio				
FEVH38_c4				mistura até nº 4 (inc.)						
FEVH34_c4			mistura após nº 4							
FEVH34_c4_f1/2								1/2 da espessura		
FEVH34_c4_f1/3									1/3 da espessura	
FEVH3mg_c4_f1/2										1/2 da espessura
FEVH3mf_c4_f1/2										

Por outro lado, a cola de caseína (**C**) foi preparada segundo Madison (1967). Não se dispondo de caseína em pó, este material foi obtido utilizando uma receita caseira para azedar o leite e, assim, formar o coalho: deitaram-se cerca de 200 ml de leite ultrapasteurizado num recipiente; aqueceu-se o líquido sem ferver; juntaram-se duas colheres de sopa de vinagre e mexeu-se; passou-se a mistura por um passador fino, para separar o coalho e o soro de leite; secou-se o coalho em folhas de papel absorvente e moeu-se, dando origem à caseína. Depois de obtida a caseína, deu-se início à mistura dos ingredientes, especificados no Quadro 5.1, começando com a mistura desta com água, seguindo-se uma agitação mecânica, com recurso a uma batedeira elétrica doméstica, durante 15 minutos. De seguida, misturou-se separadamente o hidróxido de sódio e água e a cal hidratada e água. Por último, juntou-se a mistura de hidróxido e depois a cal hidratada à mistura de caseína, utilizando a batedeira durante 20 minutos. Há que referir que é necessários ter alguns cuidados de utilização com o hidróxido de sódio, nomeadamente a utilização de óculos e luvas de proteção, sendo que a sua junção com água provoca uma reação exotérmica.

Para o fabrico das placas, foram utilizadas diferentes dimensões de partículas de carolo, presentes no Quadro 5.2, pertencentes a dois tipos diferentes. O primeiro tipo conta com partículas passadas no peneiro 3/8" e retidas no nº 4 e passadas no peneiro nº 4 e retidas no nº 8, denominadas como **nº 4** e **nº 8**, respetivamente. Por outro, no segundo tipo de misturas, teve-se em conta o ponto de vista industrial, utilizando-se as misturas "industriais" referidas anteriormente e designadas como mistura fina, **mf**, e mistura grossa, **mg**, consoante a dimensão das partículas constituintes.

Quadro 5.2 – Dimensão das partículas de carolo utilizadas no fabrico das placas

Designação	Dimensão das partículas de carolo de milho (mm)
nº 8	2,38 - 4,76
nº 4	4,76 - 9,52
mf	0 - 4,76
mg	4,76 - 19,1

De acordo com os resultados que se foram obtendo, optou-se por alterar a prensagem a quente para a frio e, por forma a tentar manter as características, utilizou-se hidróxido de sódio (**H**) em todas as placas feitas com cola constituída por farinha de trigo e prensadas a frio, exceto a de experimentação que permitiu perceber a necessidade do hidróxido. A utilização deste material, para favorecer a aglutinação das partículas e, por isso, aumentar a resistência da placa, baseia-se em pesquisa bibliográfica, nomeadamente Madison (1967). Tendo em conta o uso deste material no fabrico da cola, foram utilizadas diferentes quantidades, **3**, **4** e **6** g, de modo a perceber qual a melhor proporção. Com a utilização de 6 g de hidróxido de sódio nas colas com

farinha de trigo, nomeadamente na de FEVH₆, a cola ficou granular, sendo muito difícil de misturar adequadamente os ingredientes da cola, bem como juntá-la ao carolo; foi necessário juntar o hidróxido de sódio lentamente e ir mexendo vigorosamente com o agitador mecânico. Quanto ao fabrico da cola com 4 g, considerou-se que a dificuldade da homogeneização ainda era significativa, tendo-se apenas produzido placas com 3 g de hidróxido de sódio, uma vez que o processo de fabrico já não acarretava grandes esforços.

Nas Figura 5.2 e Figura 5.3 encontram-se algumas das colas e das misturas de cola e carolo de milho, respetivamente. A mistura do carolo e da cola foi feita manualmente, utilizando um utensílio de cozinha, como uma colher, ou mesmo com a mão, no caso da cola de FEVH₆.

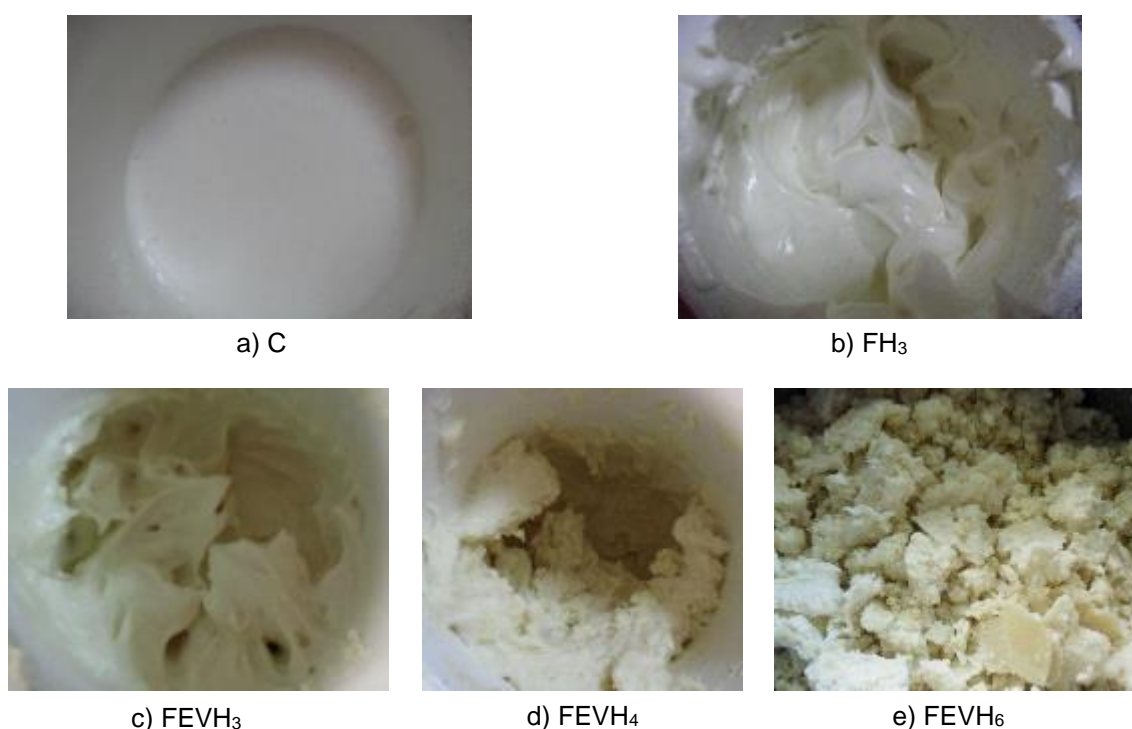


Figura 5.2 – Aspeto de algumas colas artesanais produzidas

Como estas placas foram feitas artesanalmente, todo o processo de fabrico esteve condicionado às limitações de equipamento e materiais disponíveis. No que toca à prensagem, foi utilizado um macaco hidráulico tipo garrafa, normalmente utilizado na manutenção dos automóveis, como se pode observar na Figura 5.4. Assim, as placas foram carregadas com uma pressão indeterminada até ao limite do sistema criado para manter essa pressão, tal como se observa na Figura 5.5. Dependendo das placas definidas, foi utilizada prensagem a quente (**h**) ou a frio (**c**) (optou-se na maior parte das vezes pela prensagem a frio) e foram utilizados diferentes tempos de prensagem, **8**, **4** ou **0.5** horas, sempre com vista à simplificação do processo de fabrico. Note-se que mesmo nas placas feitas com prensagem a quente, considerou-se também um tempo de prensagem a frio, sugerido por D'Amico *et al.* (2010), para evitar a deformação da placa devido ao elevado teor de água da cola.

Com o intuito de melhorar a resistência à flexão, experimentou-se o fabrico das placas reforçadas com fibras, através da incorporação de uma rede de fibra de vidro com malha de 1,5 cm x 1,5 cm. Estas redes foram colocadas a cerca de metade da espessura ($f1/2$) em algumas placas, sendo também aplicada a um terço ($f1/3$) noutras. Note-se que a rede não ficou totalmente horizontal, uma vez que a camada da mistura de carolo e cola colocada não confere uma superfície lisa, pelo que, industrialmente, seria necessário um sistema que mantivesse a rede sob tensão para que ficasse direita e horizontal.



a) C4



b) FH₃₄



c) FEV8



d) FEVH₆₈

Figura 5.3 – Aspeto de algumas misturas produzidas



Figura 5.4 – Prensagem da placa com um macaco hidráulico

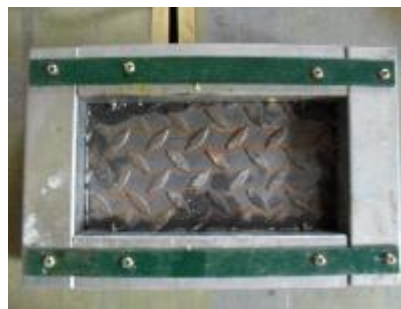
Na Figura 5.7 encontram-se bem presentes as diferenças entre a cola de FEVH₃ e C, em que a primeira preenche muito mais os vazios entre as partículas de carolo do que a cola de caseína.

Para um total esclarecimento, veja-se que, por exemplo, FEVH₃₄_c4_f1/2 significa que a placa fabricada possui cola de farinha de trigo (F), clara de ovo (E), vinagre (V) e 3 g de hidróxido

de sódio (H_3) e partículas designadas como nº 4, foi produzida por prensagem a frio durante 4 h (c4) e possui uma rede de fibra a meio da espessura (f1/2).



a) Visualização dos parafusos no exterior do molde

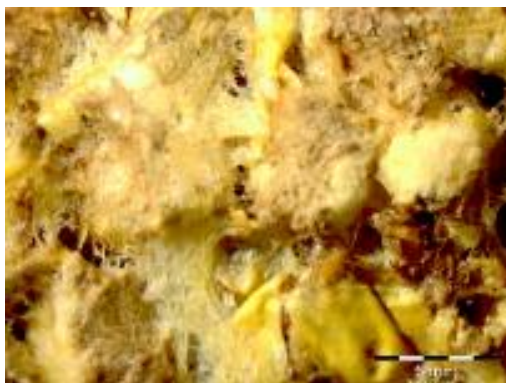


b) Visualização dos parafusos no interior do molde

Figura 5.5 – Sistema que mantém a pressão imposta sem necessidade de utilizar o macaco hidráulico



Figura 5.6 – Colocação da rede de fibra de vidro durante a moldagem da placa



a) FEVH₃₄_c4



b) Cmg_c4_f1/2

Figura 5.7 – Visualização de dois tipos de placas na lupa binocular *Olympus SZX12*

Com base no estudo de D'Amico *et al.* (2010), optou-se por um tempo de armazenamento das placas de 14 dias, a uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, antes de serem ensaiadas. Contudo, estas foram condicionadas nas primeiras horas após o fabrico em condições não controladas, como consequência do fabrico artesanal, sendo que só no restante período de condicionamento estipulado foram mantidas em sala condicionada, com as condições definidas.

Note-se que, como nesta fase se produziu somente uma placa de cada tipo, em alguns ensaios não se conseguiu obter a média e o desvio padrão dos valores determinados. Quando não são apresentados ao longo do texto, todos os resultados individuais dos ensaios realizados podem ser consultados no Anexo B.

5.3. Massa volúmica e teor de água

A massa volúmica das placas corresponde ao quociente entre a sua massa e o seu volume. Deste modo, tendo como base a norma EN 1602 (CEN, 2013a) aplicada a produtos de isolamento térmico, o procedimento de ensaio é simples: pesaram-se as placas numa balança com precisão de 0,001 g e mediram-se com um paquímetro digital. O volume das placas foi determinado fazendo várias medições em relação ao comprimento, altura e espessura da placa, conforme se indicam na Figura 5.8.

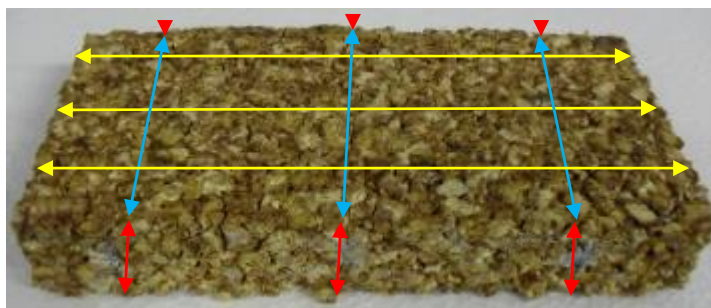


Figura 5.8 – Direção das medições, em termos de comprimento (amarelo), largura (azul) e espessura (vermelho)

Antes deste ensaio, as placas estiveram no mínimo 48 horas numa sala com condições controladas, com humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, que se considerou ser tempo suficiente para atingir o equilíbrio com o ambiente. A massa volúmica das placas foi determinada também após 14 dias em permanência na sala condicionada, após o fabrico das placas, com o intuito de comparar os resultados obtidos após o equilíbrio com o ambiente e o tempo de armazenamento estipulado. Diferenças de massa volúmica poderão corresponder a diferenças de massa, devido à absorção ou evaporação de água, e/ou de volume, traduzido por retração ou dilatação.

Com base nas massas determinadas 48 h e 14 dias após o fabrico das placas, determinou-se a variação do teor de água, quer dizer, calculou-se o teor de água tendo em conta que, contrariamente ao que estipula a norma NP 614 (IPQ, 1973), a amostra não é seca e apenas se contabiliza a perda de massa que ocorre em condições controladas de humidade relativa. Deste modo, a variação do teor de água a $65 \pm 5\%$ de humidade relativa é facilmente calculado sabendo as massas obtidas no ensaio de determinação da massa volúmica e tendo como base a Equação 2.

Analizou-se ainda a alteração do volume e da massa das placas, tendo em conta as medições e pesagens feitas nos dois períodos anteriormente referidos.

Os resultados referentes à determinação da massa volúmica das diversas placas estão presentes nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11.

Quanto à variação do teor de água, considerando uma humidade relativa de $(65 \pm 5) \%$, os resultados encontram-se presentes nas Figuras 5.12, 5.13 e 5.14.

Analisando os resultados, constata-se que, tal como expectável, as placas diminuíram de volume e massa ao longo do tempo que ficaram na sala condicionada, pelo que a massa volúmica foi menor após os 14 dias comparativamente com as medições e pesagens feitas após 48 h. Este facto pode ser explicado pela elevada percentagem de água na constituição das colas que, nas condições de condicionamento, vai evaporando.

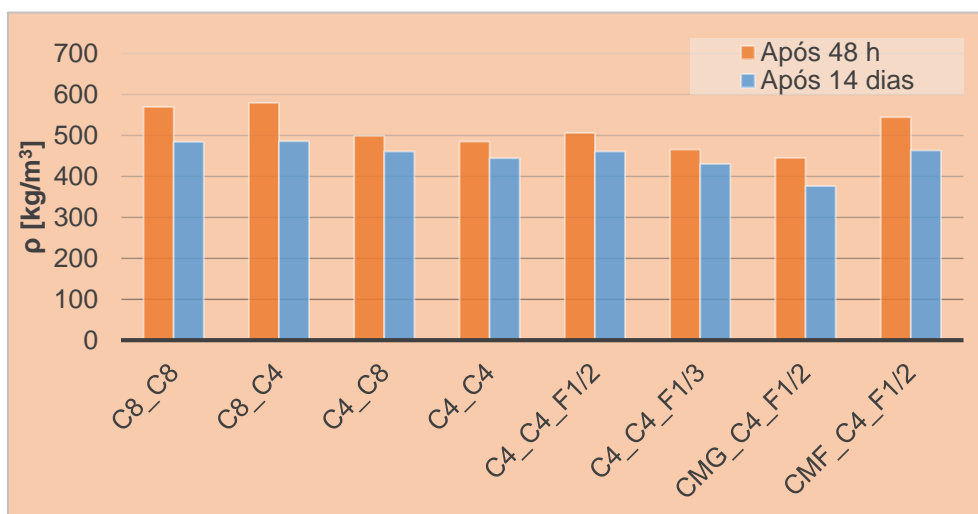


Figura 5.9 – Massa volúmica das placas com cola de caseína

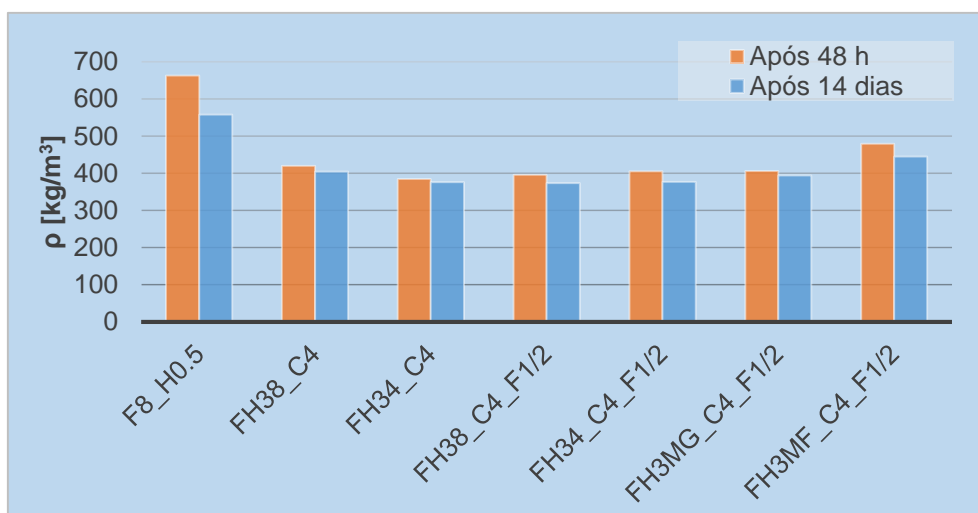


Figura 5.10 – Massa volúmica das placas com cola de farinha



Figura 5.11 – Massa volúmica das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

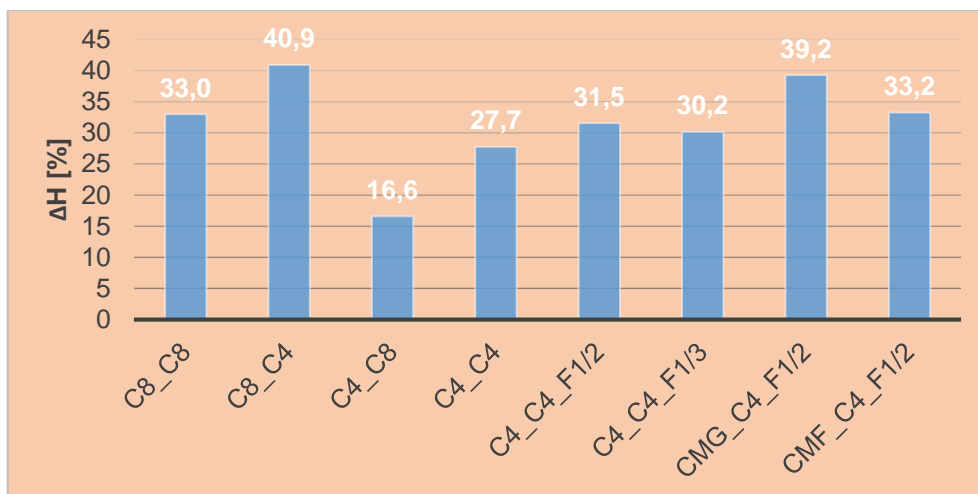


Figura 5.12 – Variação do teor de água das placas com cola de caseína

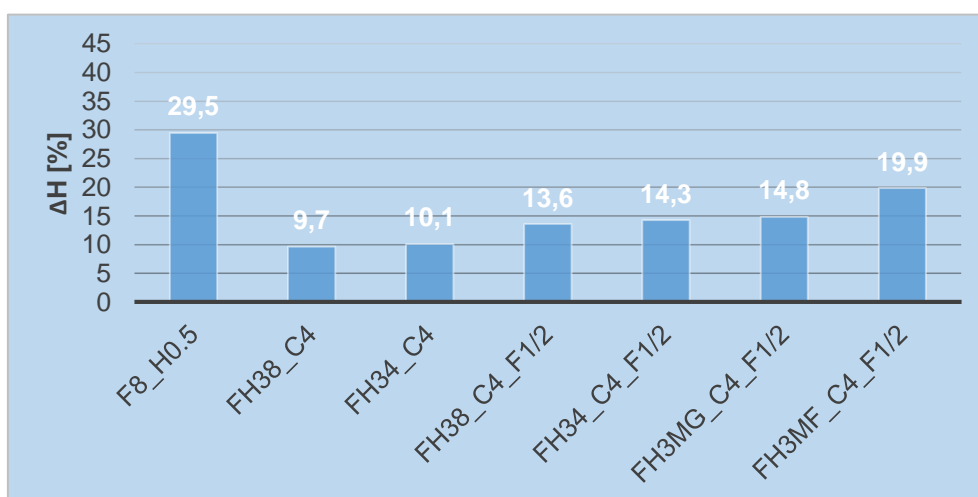


Figura 5.13 - Variação do teor de água das placas com cola de farinha

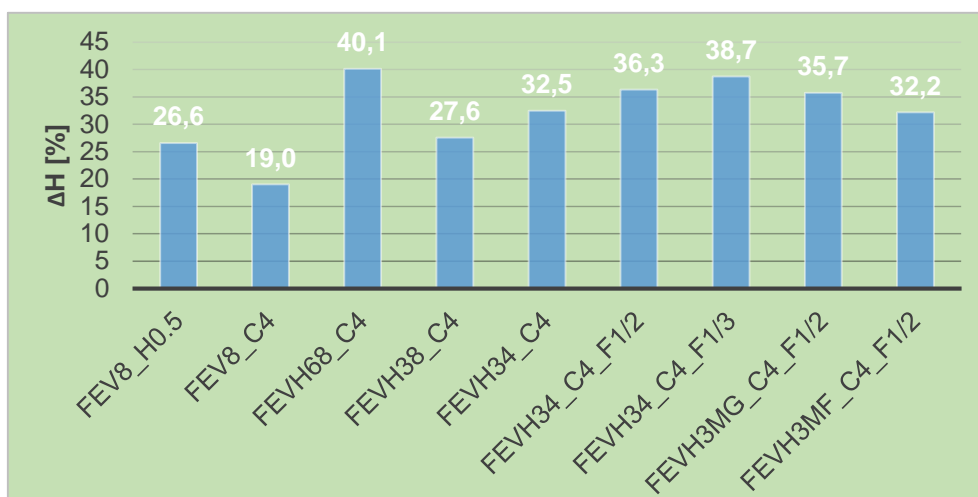


Figura 5.14 - Variação do teor de água das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.4. Características visuais e olfativas

No Anexo C é apresentada a aparência de cada placa. Estas foram avaliadas em termos visuais e olfativos: cor e alteração desta com o tempo, existência de fungos, ocorrência de fissuras e odor libertado pelas placas.

As características das placas encontram-se discriminadas no Quadro 5.3.

Note-se que, como consequência dos resultados que se iam obtendo nos ensaios, se optou por colocar algumas placas em condições não controladas com ventilação forçada, nas primeiras horas após o seu fabrico. Contudo, essas condições favoreceram o aparecimento de fissuras, que não ocorreram nas outras placas sujeitas apenas a ventilação natural.

A pigmentação de cor amarela verificada em algumas placas é causada pela presença do hidróxido de sódio. Ao longo do tempo, não foram detetadas visualmente alterações significativas da cor das placas.

No período de condicionamento, as placas foram colocadas na vertical para permitir a sua fácil secagem. No entanto, as primeiras a serem fabricadas foram colocadas na horizontal, diretamente sobre a base, pelo que apareceram alguns fungos na superfície inferior.

Há que referir que a placa FEV8_c4 ficou pouco resistente; foi abrindo diversas fissuras aquando do seu transporte e manuseamento. Na Figura 5.15 é possível observar a medição de uma das suas fissuras, utilizando uma tabela de fissuras.

Quanto aos fungos no interior das placas, serão analisados após o ensaio de resistência à flexão, onde as placas são fraturadas.

5.5. Condutibilidade térmica

O ensaio de condutibilidade térmica foi realizado de acordo com as indicações do manual de instruções do aparelho *ISOMET 2104* e tem como objetivo a determinação da grandeza λ [W/(m.K)], que traduz a facilidade com que um material conduz energia sob a forma de calor.

Quadro 5.3 – Características visuais e olfativas

Identificação das placas	Cor	Fungos	Odor	Fissuras
C8_c8	Amarelo escuro	Sem fungos no exterior	Odor forte quando cheirado de perto, ao início, mas passados 14 dias desaparece	-
C8_c4				
C4_c8				
C4_c4				
C4_c4_f1/2				
C4_c4_f1/3				
Cmg_c4_f1/2				
Cmf_c4_f1/2				
F8_h0.5	Cor original do carolo	Fungos no exterior	Sem odor	Sem fissuras
FH38_c4	Amarelo claro	Sem fungos no exterior	Odor ligeiro quando cheirado de perto, ao início, mas passados 14 dias desaparece	Fissuras numa face lateral, com abertura de 1 a 2 mm
FH34_c4				Fissuras na interseção da rede com uma das faces laterais, com abertura de 2 a 8 mm
FH38_c4_f1/2				Fissuras na interseção da rede com duas das faces laterais, com abertura de 2 a 8 mm
FH34_c4_f1/2				Fissuras na interseção da rede com uma das faces laterais, com abertura de 1 a 6 mm
FH3mg_c4_f1/2				Fissuras na interseção da rede com uma das faces laterais, com abertura de 1 a 2 mm
FH3mf_c4_f1/2				
FEV8_h0.5	Cor original do carolo	Fungos no exterior	Sem odor	Sem fissuras
FEV8_c4				Fissuras diagonais que atravessam toda a espessura, com abertura de 2 a 7 mm; pequenas fissuras em toda a placa, com cerca de 1 mm
FEVH6_c4	Amarelo claro	Sem fungos no exterior	Odor ligeiro quando cheirado de perto, ao início, mas passados 14 dias desaparece	Sem fissuras
FEVH38_c4				
FEVH34_c4				
FEVH34_c4_f1/2				
FEVH34_c4_f1/3				
FEVH3mg_c4_f1/2				Fissuras na interseção da rede com duas das faces laterais, com abertura de 1 a 4 mm
FEVH3mf_c4_f1/2				Fissuras na interseção da rede com duas das faces laterais, com abertura de 1 a 2 mm

Para a realização deste ensaio, as placas de carolo estiveram um mínimo de 48 horas numa sala com condições controladas, humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, que se considerou ser tempo padronizado para atingir o equilíbrio com o ambiente.

Foram feitas seis medições em pontos diferentes, três em cada face da placa, sendo que foram feitas primeiramente duas medições em cada face e só depois se fez a terceira, uma vez que, como estas são próximas, o ligeiro aquecimento da superfície podia influenciar a medição seguinte. Note-se que se tentou manter sempre uma distância entre o ponto de medição e a extremidade das placas, de modo a que os resultados não fossem influenciados pela envolvente. Apesar das faces não serem completamente lisas, a utilização de uma sonda interna levaria à necessidade de execução de furos nas placas para que esta conseguisse entrar, o que poderia originar problemas, pelo que se optou por usar uma sonda de contacto.



Figura 5.15 – Medição da fissura da placa FEV8_c4

O ensaio foi realizado também ao fim de 14 dias em permanência na sala condicionada, de modo a estudar o comportamento térmico das placas depois de atingirem o equilíbrio com o ambiente e após o tempo de armazenamento anteriormente estipulado. Este ensaio decorreu em laboratório com uma temperatura de 21°C e uma humidade relativa de 60%. Note-se que após o término do ensaio, as placas voltaram a ser colocadas na sala condicionada.

O procedimento experimental foi o seguinte: colocou-se a placa de carolo de milho sobre uma placa de EPS de 3 cm de espessura, para prevenir eventuais interferências nos resultados; colocou-se a sonda de contato superficial com 60 mm de diâmetro com gama de 0,04-0,30 [W/(m.K)] sobre o ponto a ensaiar (Figura 5.16 a) e b)); seleccionou-se a opção de ensaio de condutibilidade térmica no aparelho e aguardou-se o término do ensaio; registou-se o valor determinado pelo aparelho; repetiu-se o procedimento de determinação da condutibilidade térmica para os restantes pontos.

Note-se que a resistência térmica varia de forma inversa em relação à condutibilidade térmica e direta face à sua espessura; assim quanto menor a condutibilidade térmica, maior a resistência térmica da placa.

Nas Figuras 5.17, 5.18 e 5.19 são apresentados os valores médios e respetivos desvios-padrão de cada placa ensaiada.



a) Aparelho de medição ISOMET 2104



b) Sonda de contato utilizada
[W/(m.K)]

Figura 5.16 – Ensaio de determinação da condutibilidade térmica das placas

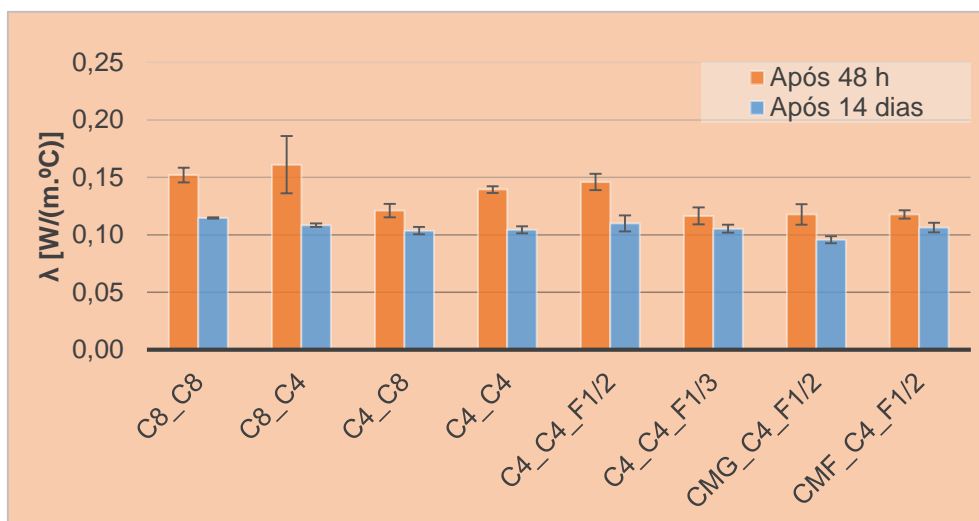


Figura 5.17 – Condutibilidade térmica das placas com cola de caseína

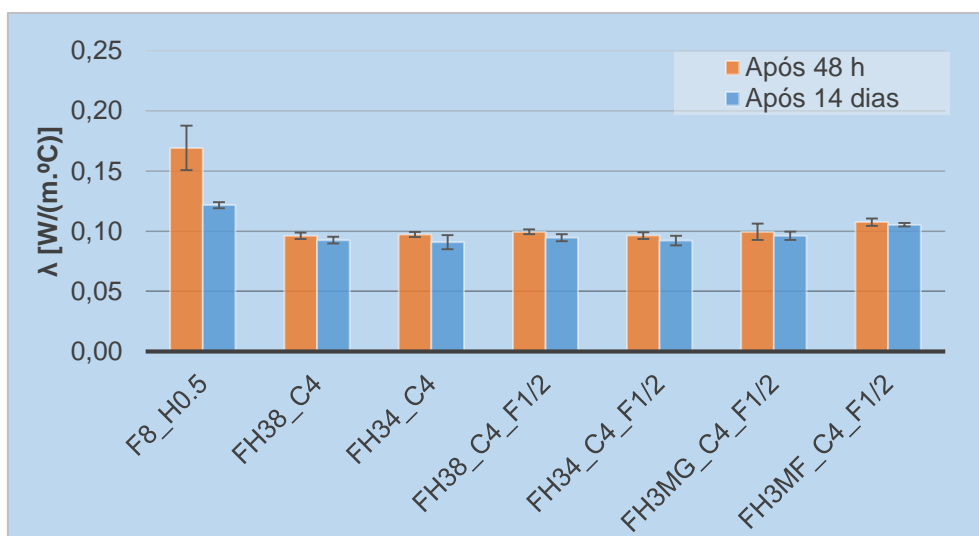


Figura 5.18 – Condutibilidade térmica das placas com cola de farinha

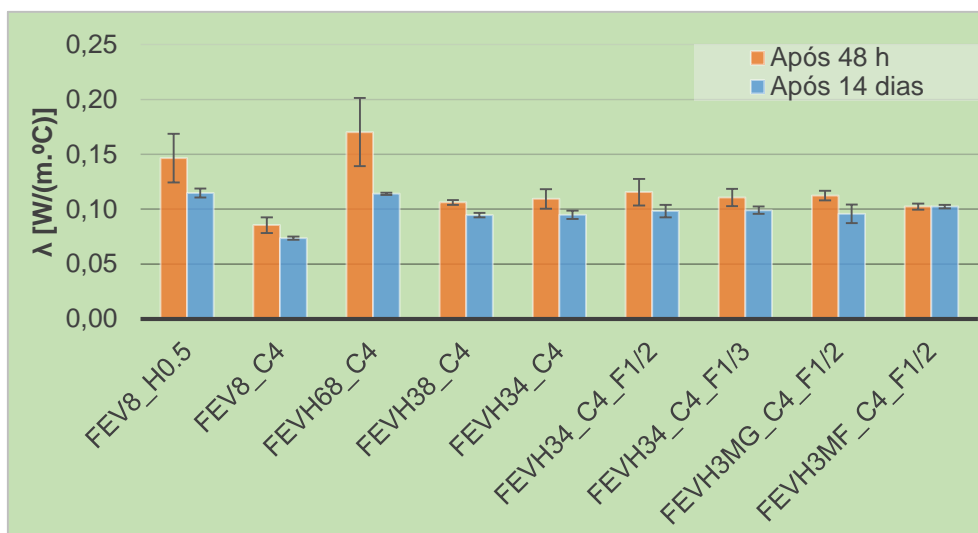


Figura 5.19 – Condutibilidade térmica das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.6. Velocidade de propagação dos ultrassons

A realização deste ensaio permite avaliar a homogeneidade do material e a sua compacidade, assim como a deteção de imperfeições, tais como fendilhação ou vazios, pois a existência destas influencia diretamente a velocidade de propagação das ondas, atrasando-a.

O ensaio foi realizado segundo o procedimento descrito na norma NP EN 12504-4 (IPQ, 2007), aplicada normalmente a estruturas de betão. Este ensaio não destrutivo tem como princípio a medição do tempo de propagação das ondas de ultrassons através do material em estudo, entre os dois pontos onde são colocados o transmissor e o recetor do aparelho. Sabendo esse tempo e conhecendo a distância entre os dois pontos, é possível determinar a velocidade de propagação das ondas.

Para este ensaio foi utilizado o equipamento *Pundit Lab PROCEQ* (Figura 5.20 a)) e foram realizadas leituras diretas (Figura 5.20 b)), em que o transmissor e o recetor são colocados em faces opostas, e leituras indiretas (Figura 5.20 c)), em que ambos são colocados na mesma face, fazendo um número significativo de leituras de modo a obter suficiente informação acerca de cada placa. Antes do ensaio, as placas permaneceram no mínimo 48 horas expostas a uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. O ensaio foi realizado sempre sobre a mesma superfície de apoio de modo a minimizar possíveis diferenças entre os resultados das placas, provocadas pela influência da superfície na velocidade de propagação das ondas.

O procedimento experimental foi o seguinte: marcaram-se 6 pontos na face superior da placa, 6 pontos nas faces laterais de maiores dimensões (3 em cada) e 2 pontos nas restantes faces laterais (1 em cada); efetuaram-se as medições entre os pontos da face superior (propagação indireta), aplicando um gel condutor nos pontos de leitura e colocando o transmissor num ponto e o recetor no outro, cruzando todos os pontos presentes nessa face (Figura 5.20 a)); efetuaram-se as medições entre os pontos opostos nas faces laterais (propagação direta),

aplicando o gel condutor e colocando o transmissor e o recetor nos pontos (Figura 5.20 b)); repetiu-se o processo até se obterem três medições para cada par de pontos.

Na Figura 5.21 são apresentados os pontos de leitura, sendo que, relativamente à propagação indireta, os pontos distam entre si 7 cm e, no que toca à propagação direta, a distância entre os pontos é igual à largura ou ao comprimento da placa, dependendo da localização dos pontos.

Analisando as placas em termos de valores médios e desvios-padrão de velocidade de propagação dos ultrassons, conclui-se que estas possuem um grande desvio-padrão. Assim, nas Figuras 5.22, 5.23 e 5.24 são apresentados os valores médios e os respetivos desvios-padrão separadamente da velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons de cada placa.



a) Aparelho de ultrassons *Pundit Lab PROCEQ*



b) Execução de leituras indiretas



c) Execução de leituras diretas

Figura 5.20 – Ensaio de determinação da velocidade de propagação dos ultrassons

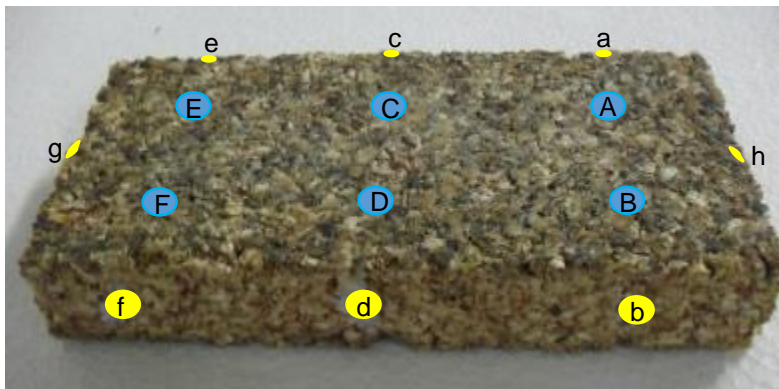


Figura 5.21 – Identificação dos pontos de leitura de propagação indireta (azul) e direta (amarelo)

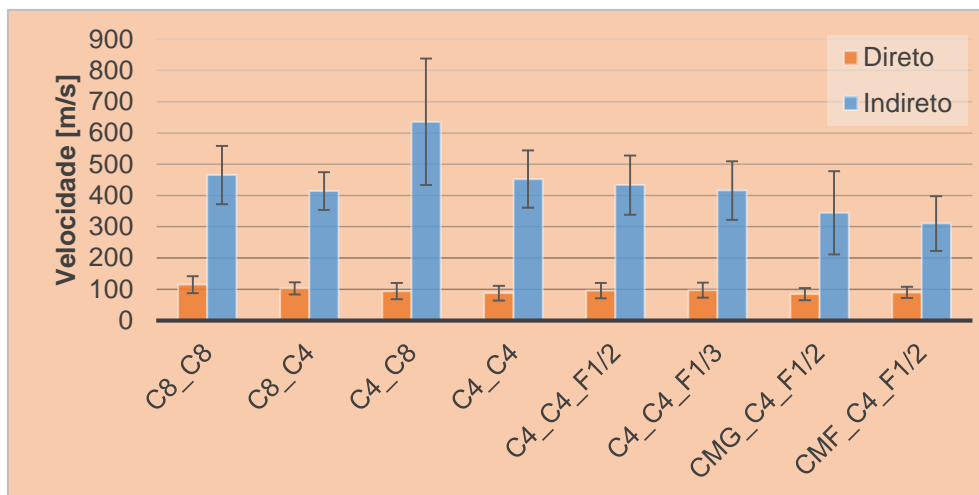


Figura 5.22 – Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de caseína

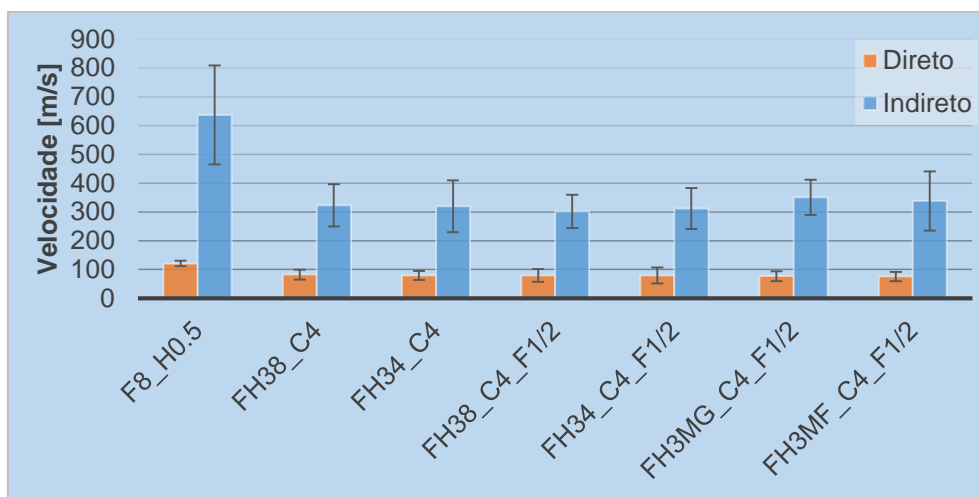


Figura 5.23 - Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de farinha

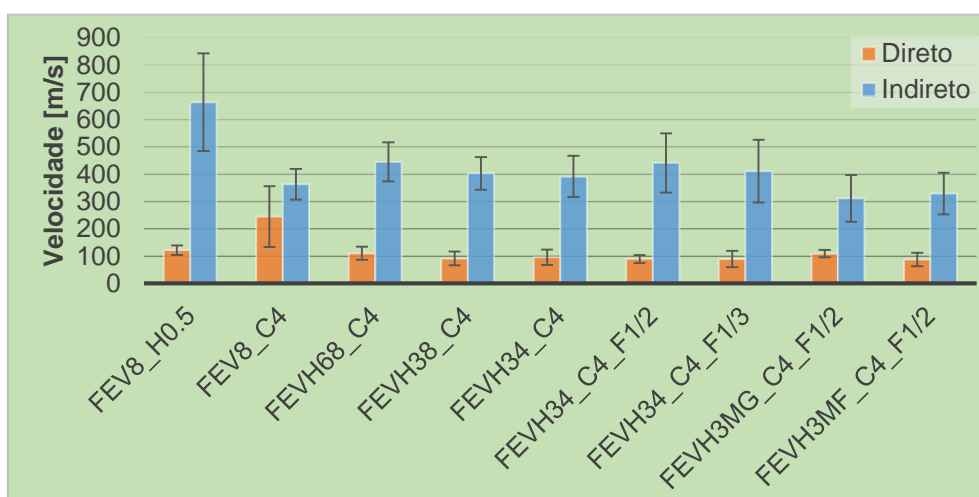


Figura 5.24 - Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.7. Dureza superficial – Durómetro

À semelhança do descrito no ensaio de dureza superficial do carolo, este método de ensaio baseia-se na penetração da agulha existente na extremidade do durómetro, quando este é forçado a penetrar no material. Este aparelho indica a resistência de penetração, que se traduz no movimento do ponteiro do durómetro ao longo de uma escala de 0 a 100 Shore A.

Para a realização deste ensaio, as placas permaneceram pelo menos 48 horas expostas a uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. O procedimento experimental usado para a determinação da dureza superficial das placas foi muito simples: pressionou-se o durómetro Shore numa das faces da placa (Figura 5.25) e registou-se o valor, repetindo-se o processo até se obterem 15 valores de pontos diferentes.

Nas Figuras 5.26, 5.27 e 5.28 constam os valores médios e desvios-padrão de cada placa.

Analisando as Figuras 5.26, 5.27 e 5.28, conclui-se que a dureza superficial possui um desvio padrão muito elevado em todas as placas, uma vez que os valores obtidos neste ensaio são muito variáveis dependendo da camada de carolo ou vestígio de cola em que o durómetro penetre.



Figura 5.25 – Determinação da dureza superficial da placa

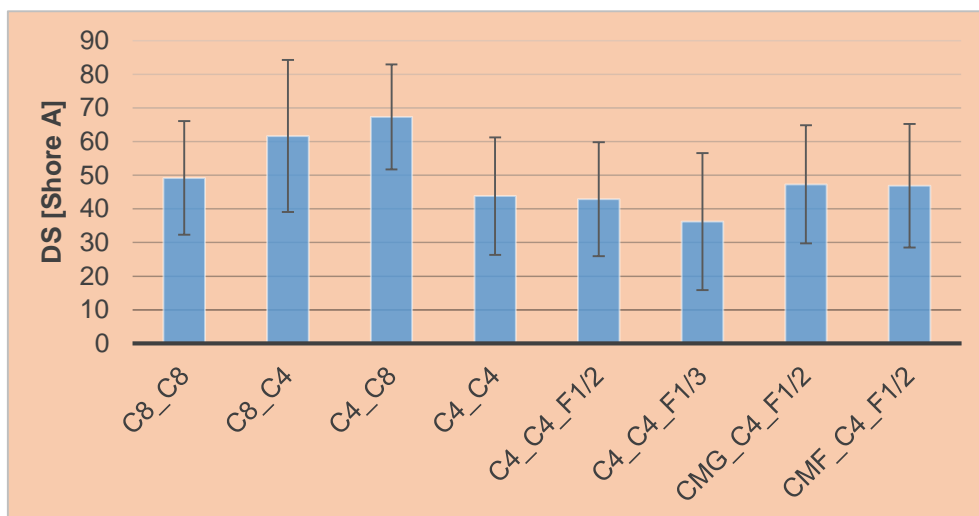


Figura 5.26 – Dureza superficial por durómetro das placas com cola de caseína

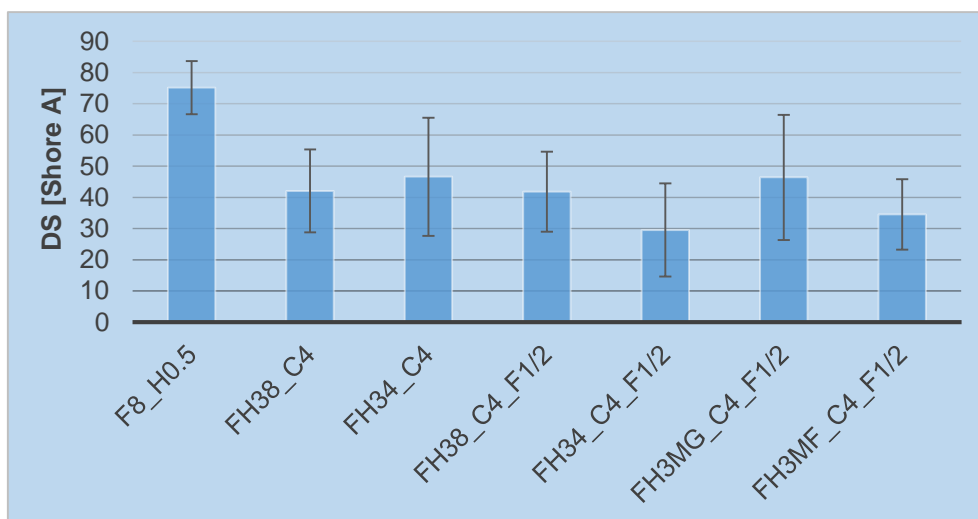


Figura 5.27 – Dureza superficial por durômetro das placas com cola de farinha

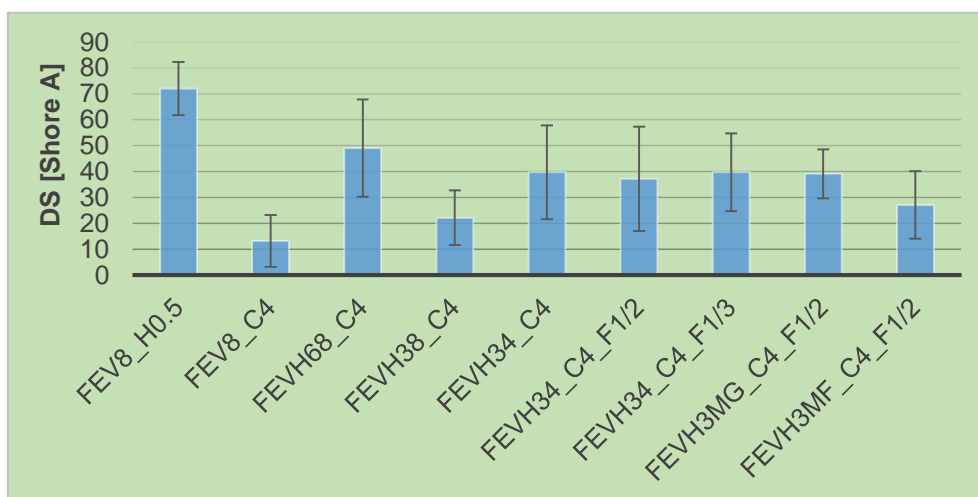


Figura 5.28 – Dureza superficial por durômetro das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.8. Resistência superficial – Esclerômetro pendular

Este ensaio tem como objetivo a avaliação da resistência de um material ao impacto com recurso a um esclerômetro pendular. Foi utilizado o esclerômetro pendular *PROCEQ PT* (Figura 5.29), em que, através da quantidade de energia recuperada pelo ressalto, se obtém um índice da superfície ensaiada em graus Vickers. Quanto maior for o valor desta grandeza, menor é a quantidade de energia absorvida pelo material.



Figura 5.29 – Esclerômetro pendular PROCEQ PT

Para a realização deste ensaio, as placas permaneceram no mínimo 48 horas expostas a uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e foram seguidas as indicações do manual de instruções do aparelho. De modo a garantir que a superfície de apoio não absorvia o impacto causado pela massa do esclerómetro pendular, o ensaio foi realizado apoiando as placas numa parede de reação que, tecnicamente, possui uma deformação nula. O ensaio foi realizado apenas numa face da placa por se considerar que estas são semelhantes.

O procedimento experimental foi o seguinte: fixou-se uma ripa à parede de reação para servir de suporte à placa; determinaram-se três pontos a ensaiar na face; colocou-se o esclerómetro encostado à placa de forma a fazer coincidir a zona de impacto da massa do esclerómetro com o ponto a ensaiar; armou-se o esclerómetro e libertou-se o pêndulo através do botão de disparo, garantindo sempre o total contacto entre o esclerómetro e a placa e entre esta e a superfície de apoio; registou-se o valor do ressalto do pêndulo; repetiu-se o processo até se obterem três valores para cada placa.

Nas Figuras 5.30, 5.31 e 5.32 são apresentados os resultados deste ensaio, em termos de valores médios e dos respetivos desvios-padrão.

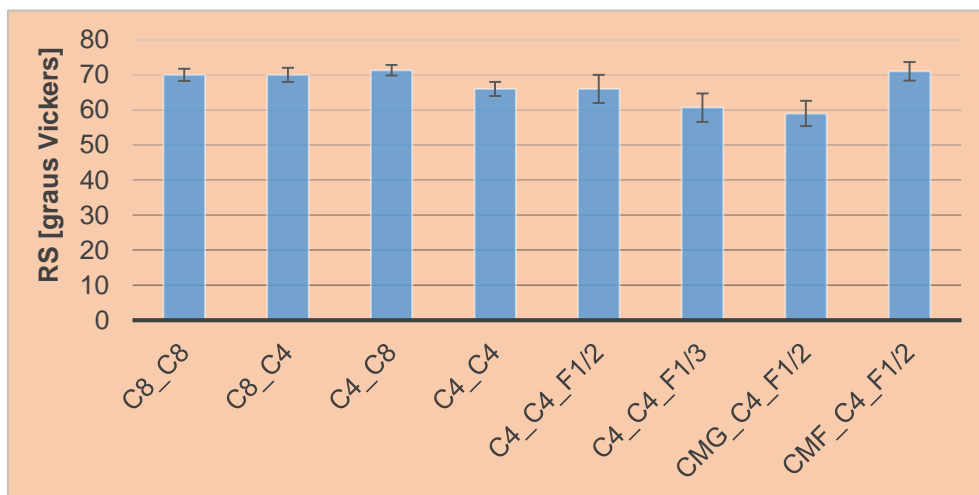


Figura 5.30 – Resistência superficial por esclerómetro pendular das placas com cola de caseína

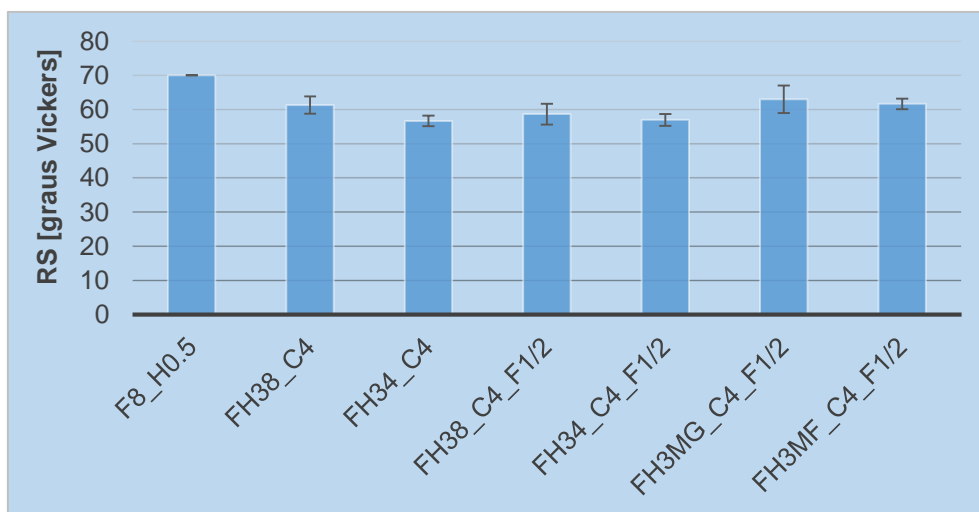


Figura 5.31 – Resistência superficial por esclerómetro pendular das placas com cola de farinha

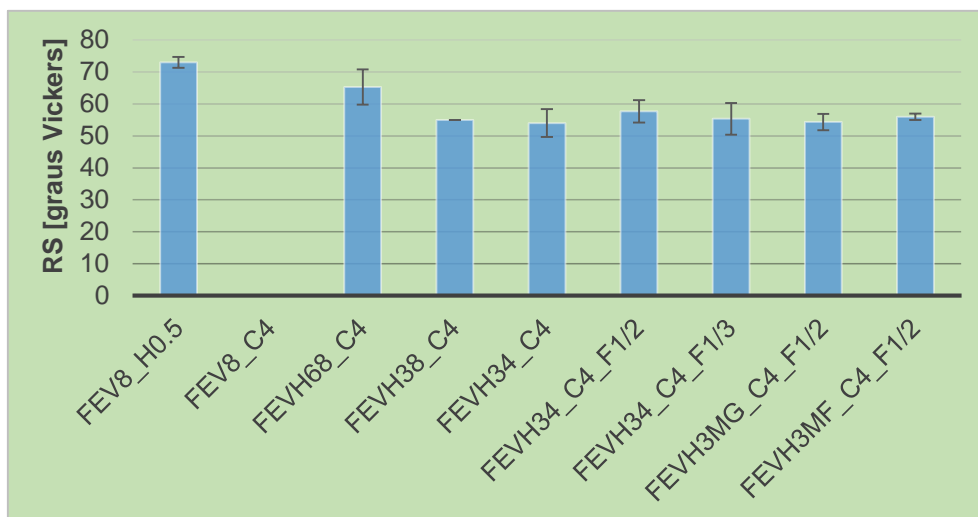


Figura 5.32 – Resistência superficial por esclerômetro pendular das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.9. Resistência à flexão

A determinação desta característica é de extrema importância, tendo em conta, desde logo do ponto de vista industrial, o transporte e manuseamento das placas com carolo de milho e cola natural; em função do tipo de aplicação futura da placa, também ações em serviço.

Considerando que se pretende estudar o potencial das placas para aplicação como isolamento térmico (e acústico), o ensaio de resistência à flexão baseou-se na norma EN 12089 (CEN, 2013b), referente a isolamentos térmicos. Para tal foi utilizada uma máquina universal Zwick/Rowell, com uma célula de carga de 2 kN, em que a flexão foi imposta em três pontos, dois nos apoios da máquina e um na extremidade da célula de carga a meio da placa.

Este ensaio foi realizado após os 14 dias, anteriormente estipulados, de permanência na sala condicionada. Note-se que, para este ensaio, se utilizaram as mesmas placas onde foram anteriormente realizados os ensaios antes descritos.

Segundo a norma aplicada neste ensaio, a distância entre os apoios inferiores foi de 5 x espessura $\pm 0,5\%$ e as placas estiveram pelo menos 6 h a $23 \pm 5^\circ\text{C}$. O procedimento experimental do ensaio foi o seguinte:

- Colocaram-se os acessórios e a célula de carga para a realização do ensaio na máquina universal Zwick/Rowell; colocou-se a placa na máquina para iniciar o ensaio (Figura 5.33 a)); deu-se início ao programa de *software* do equipamento de ensaio, com uma velocidade da máquina de 10 mm/min; deu-se por terminado o ensaio quando foi atingido o valor máximo da força (Figura 5.33 b)).

O valor da resistência à flexão foi determinado através da Equação 4:

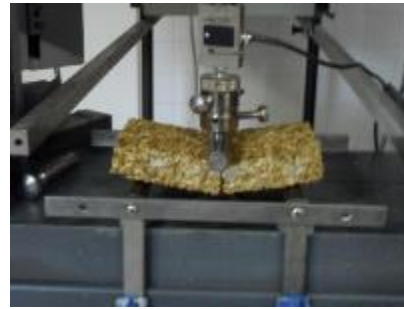
$$\sigma = 3 \times 10^3 \times \frac{F_m \times L}{2 \times b \times d^2}$$

Equação 4

σ – Resistência à flexão [kPa]; F_m – Força máxima [N]; L – Distância entre eixos [mm]; b – Largura da placa [mm]; d – Espessura da placa [mm].



a) Equipamento Zwick/Rowell



b) Rotura da placa após atingir a força máxima

Figura 5.33 – Ensaio de resistência à flexão

Note-se que, quando as fibras se localizavam a 1/3 da espessura, a placa foi colocada no equipamento de ensaio com a rede 1/3 da base, pois a placa sofre tração na parte de baixo e as fibras têm como função resistir a esses esforços.

Nas Figuras 5.34, 5.35 e 5.36 constam os resultados obtidos neste ensaio para cada placa.

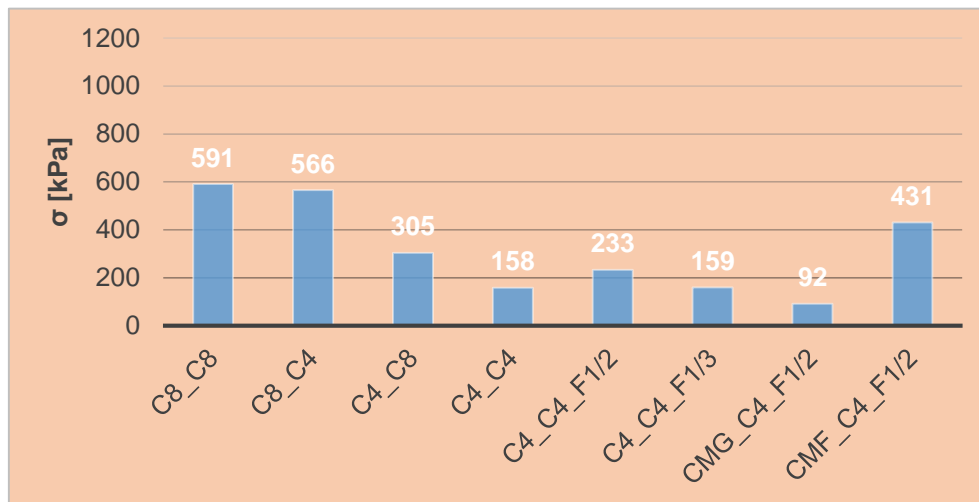


Figura 5.34 – Resistência à flexão das placas com cola de caseína

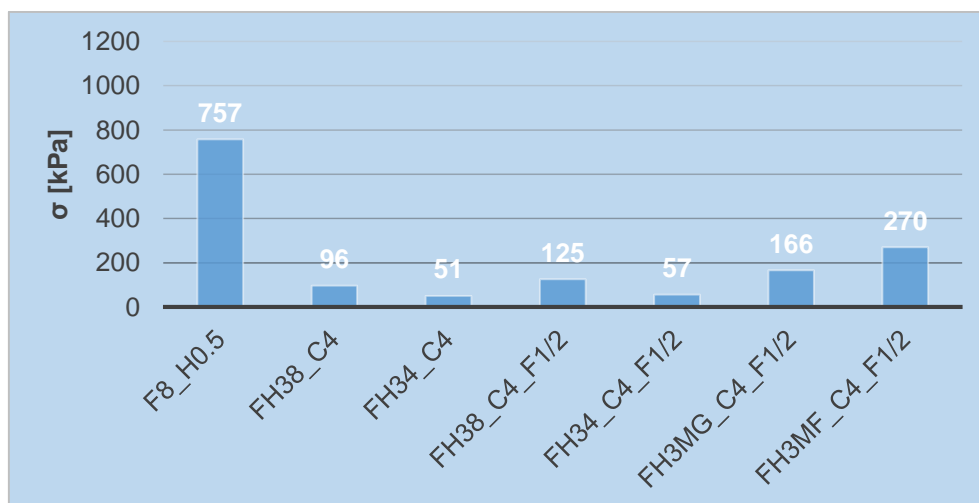


Figura 5.35 – Resistência à flexão das placas com cola de farinha

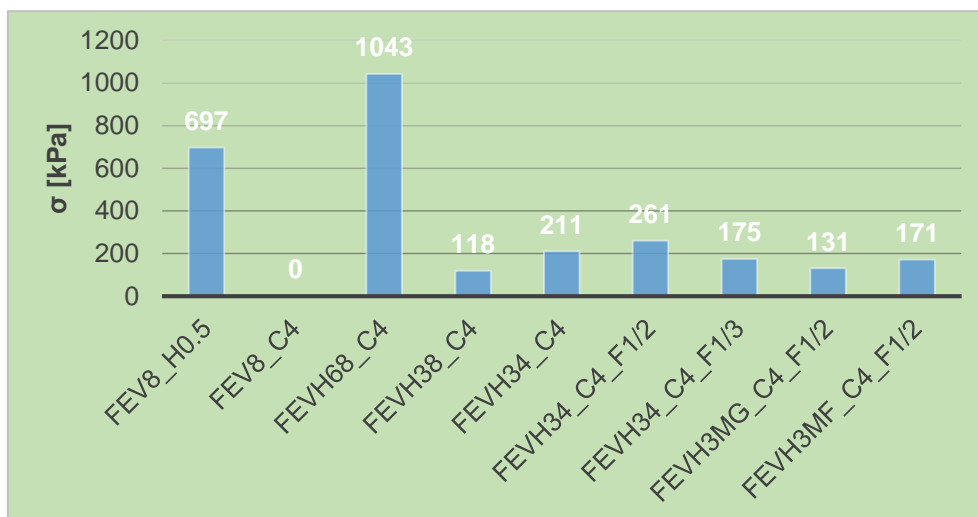


Figura 5.36 – Resistência à flexão das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

Note-se que, após o ensaio de flexão, percebeu-se que, em alguns casos, a mistura de carolo e cola e as fibras não tinham uma forte ligação, pois parecia que as fibras “escorregavam” pela mistura quando eram flexionadas. No entanto, tal facto por ser explicado pela reduzida área da placa, que não permite que se crie uma forte ligação entre o conjunto.

5.10. Módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi feita através da medição da frequência de ressonância fundamental com o equipamento *ZEUS Resonance Meter*, com base numa vibração induzida na direção longitudinal, e adaptando a norma NP EN 14146 (IPQ, 2006), definida para pedra natural.

Este ensaio foi realizado após o ensaio de resistência à flexão, com o intuito de se utilizar uma das duas metades das placas resultantes desse ensaio, que se observam na Figura 5.37 a) e b). Nas placas com fibras a separação das metades foi feita com recurso a uma tesoura.

O procedimento de ensaio foi o seguinte: secaram-se as amostras em estufa a cerca de 60°C durante aproximadamente 12 horas; pesaram-se numa balança com precisão de 0,001 g e mediram-se os comprimentos com um paquímetro, considerando a espessura e a largura médias determinadas anteriormente para as respetivas placas; colocou-se cada metade no suporte existente no equipamento, ficando um lado em contacto com o emissor de vibrações e o outro com o recetor (Figura 5.38 a)); depois de inseridas as características da amostra (massa em gramas e dimensões em milímetros) no programa, deu-se início ao *software* do equipamento (Figura 5.38 b)); registaram-se as leituras do módulo de elasticidade obtidas pelo programa; alterou-se a posição da amostra no equipamento de modo a efetuar mais medições, atravessando alinhamentos distintos.

Nas Figuras 5.39, 5.40 e 5.41 constam os valores médios e os desvios-padrão referentes a cada placa fabricada. Devido à diferença de valores obtidos, optou-se por escolher a maior gama com valores semelhantes e, a partir deles, calcular a média e desvio-padrão.



a) Placa sem fibras

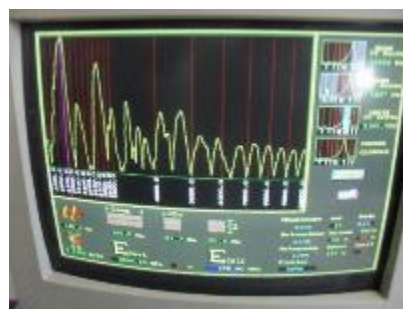


b) Placa com fibras

Figura 5.37 – Placas partidas após o ensaio de resistência à flexão



a) Equipamento ZEUS Resonance



b) *Software* do equipamento Meter

Figura 5.38 – Ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico

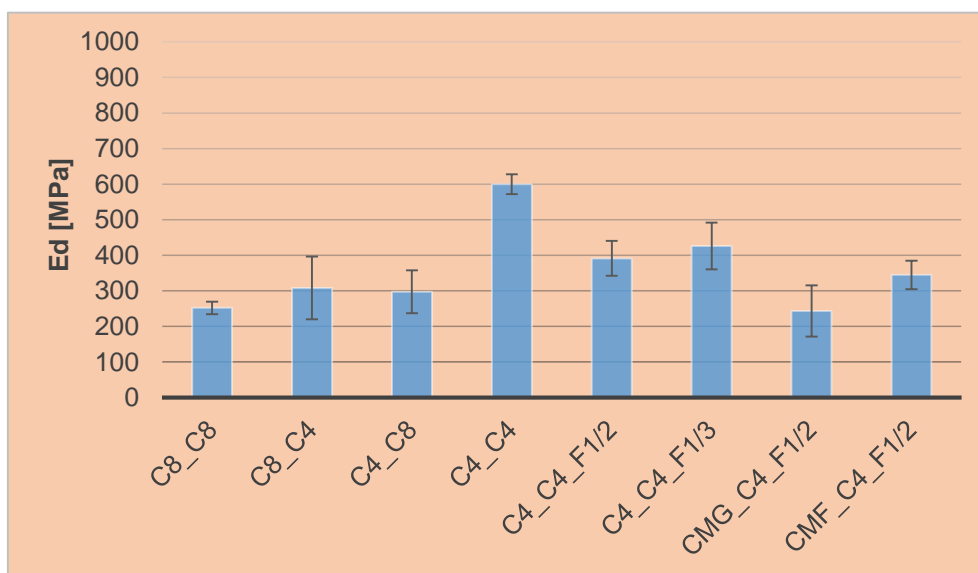


Figura 5.39 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de caseína

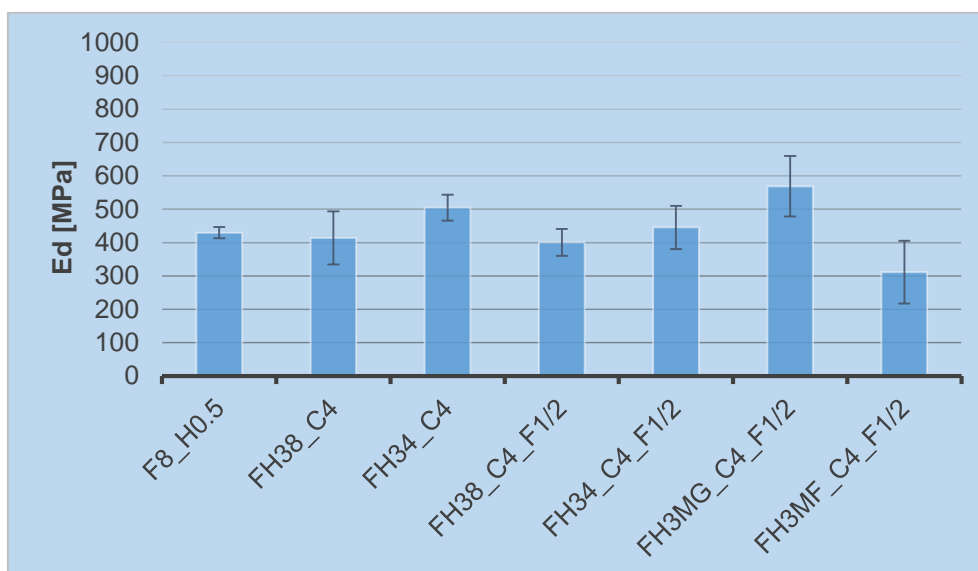


Figura 5.40 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de farinha

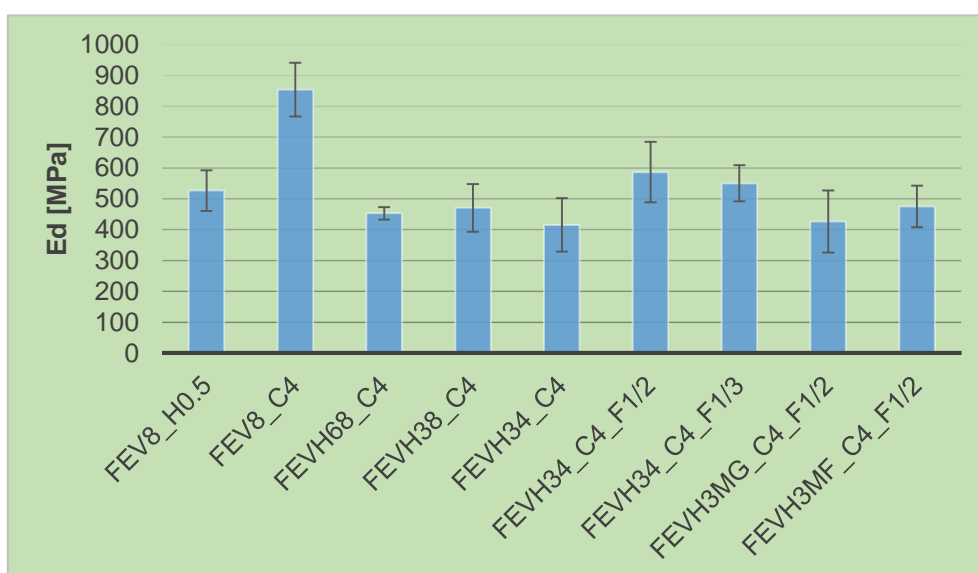


Figura 5.41 – Módulo de elasticidade dinâmico das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.11. Resistência à compressão e resiliência

Com as mesmas metades das placas utilizadas no ensaio anterior de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, executou-se o ensaio de resistência à compressão e, em paralelo, determinou-se a resiliência. O estudo destes ensaios é importante, pois permite simular ações de transporte e armazenamento das placas e a sua aplicação em pavimentos como isolamento acústico.

Tal como no ensaio de resistência à flexão, considerando a possível utilização das placas de carolo de milho como isolamento térmico (e acústico), para o ensaio de resistência à compressão utilizou-se a norma EN 826 (CEN, 2013c), referente a este tipo de isolamentos. No que toca à resiliência, adaptou-se a norma EN 1094-1 (CEN, 2008), relativa a produtos de lã de isolamento

de alta temperatura. Estes dois ensaios foram feitos em simultâneo, uma vez que a primeira fase do ensaio de determinação da resiliência corresponde ao ensaio de resistência à compressão.

Para este ensaio utilizou-se a máquina universal Zwick/Rowell, à semelhança do ensaio anterior, mas com uma célula de carga de 50 kN. Como as amostras são muito difíceis de cortar, optou-se por utilizar as metades inteiras, testando, assim, a resistência das placas à compressão com confinamento lateral, recorrendo-se a acessórios de 50 mm x 50 mm de área de compressão, tal como se pode observar na Figura 5.42.

O procedimento experimental foi o seguinte: determinou-se a espessura inicial da placa; colocaram-se os acessórios e a célula de carga para a realização do ensaio no equipamento; colocou-se a placa centrada entre os acessórios para iniciar o ensaio (Figura 5.42); deu-se início ao programa de *software* do equipamento de ensaio, com uma pré-carga de 250 Pa e uma velocidade constante da máquina de 0,1d/min, em que d é a espessura da placa em mm; comprimiu-se a placa até esta atingir 10% de deformação da espessura inicial, não tendo chegado à rotura, e registou-se a força de compressão; manteve-se a placa pressionada na máquina durante 5 minutos; reduziu-se a pressão para 725 Pa e manteve-se a placa pressionada por 5 minutos; determinou-se a espessura final.



Figura 5.42 – Ensaio de resistência à compressão e determinação da resiliência

O valor da resistência à compressão foi determinado através da Equação 5:

$$\sigma_{10} = 10^3 \times \frac{F_{10}}{A_0}$$

Equação 5

σ_{10} – Resistência à compressão para 10% de deformação [kPa]; F_{10} – Força a 10 % de deformação [N]; A_0 – Área inicial (50 x 50) [mm²].

Por outro lado, o valor da resiliência foi determinado através da Equação 6:

$$R = \frac{(t_t - t_c)}{(t_i - t_c)} \times 100$$

Equação 6

R – Resiliência [%]; t_t – Espessura final da placa [mm]; t_c – Espessura quando comprimida (90% da espessura inicial) [mm]; t_i – Espessura inicial da placa [mm].

Note-se que a norma EN 1094-1 (CEN, 2008) recomenda comprimir a placa até a espessura reduzir (50 ± 1) %, a uma taxa de deformação constante de 2 mm/min. No entanto, numa fase inicial fez-se primeiro o ensaio de resistência à compressão e de seguida experimentou-se tal

deformação para determinação da resiliência. Como se pode observar na Figura 5.43, a placa não resistiu e ficou esmagada, pelo que se optou por diminuir a percentagem de deformação. Assim, optou-se por fazer o ensaio de determinação da resiliência utilizando a deformação e a velocidade da máquina definidas na norma de resistência à flexão, pelo que se realizaram os ensaios em simultâneo.



Figura 5.43 – Esmagamento da placa durante o ensaio de determinação da resiliência

Quanto maior for o valor da resiliência, maior será a capacidade do material recuperar a espessura inicial e, proporcionalmente, menor será a deformação permanente imposta.

Nas Figuras 5.44, 5.45 e 5.46 são apresentados os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

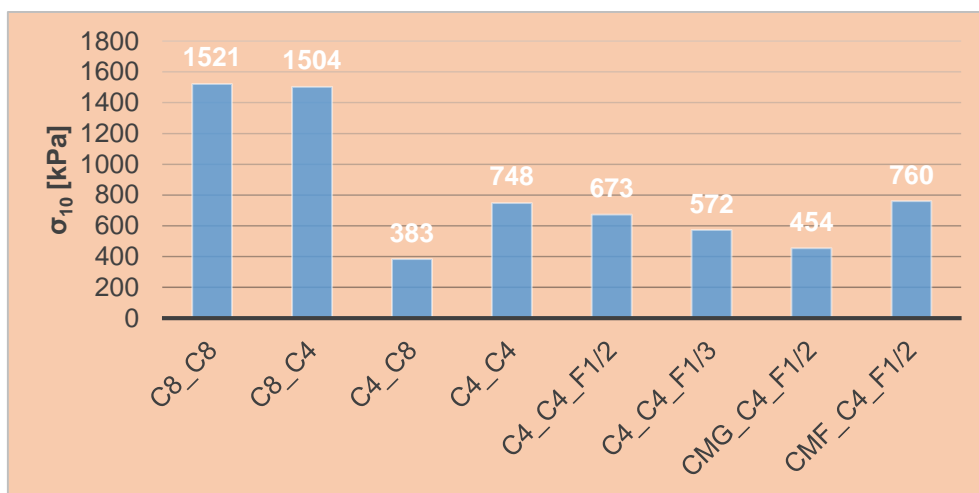


Figura 5.44 – Resistência à compressão das placas com cola de caseína

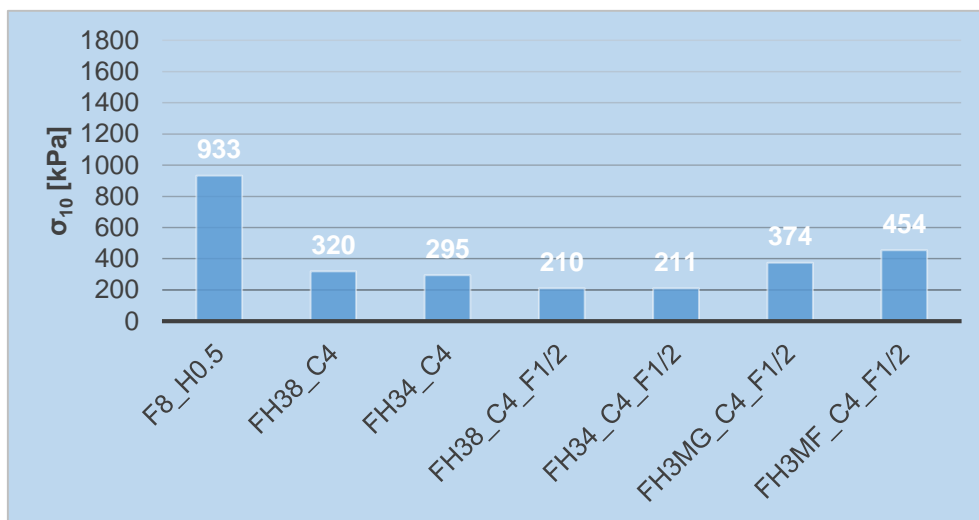


Figura 5.45 – Resistência à compressão das placas com cola de farinha

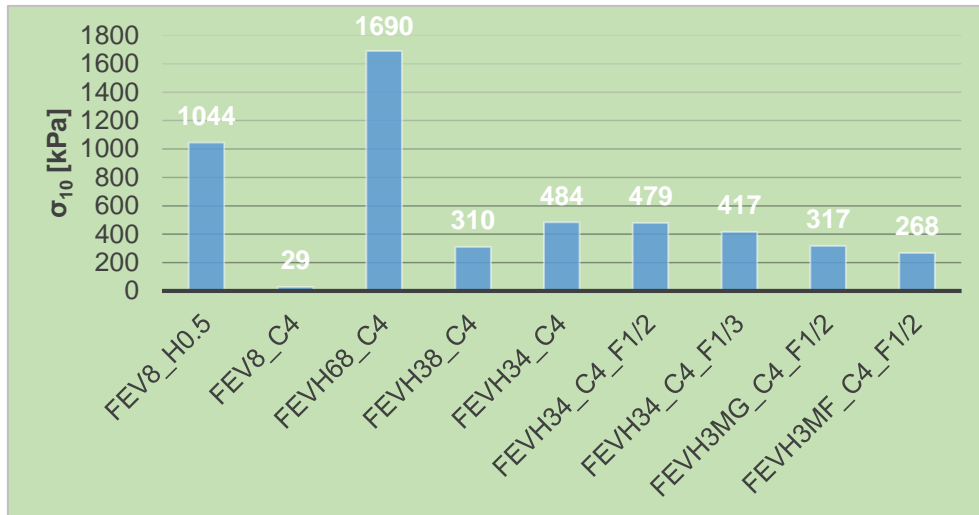


Figura 5.46 – Resistência à compressão das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

Por outro lado, nas Figuras 5.47, 5.48 e 5.49 constam os valores do ensaio de determinação da resiliência de cada placa.

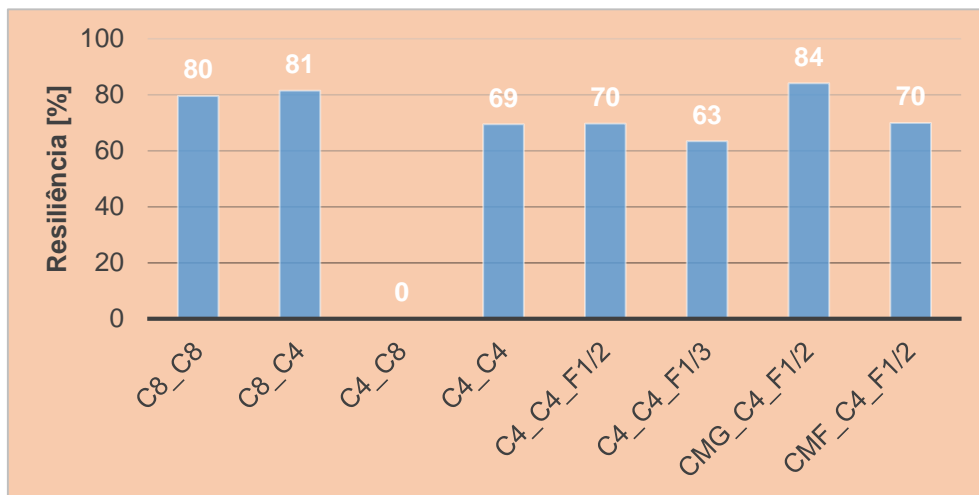


Figura 5.47 – Resiliência das placas com cola de caseína

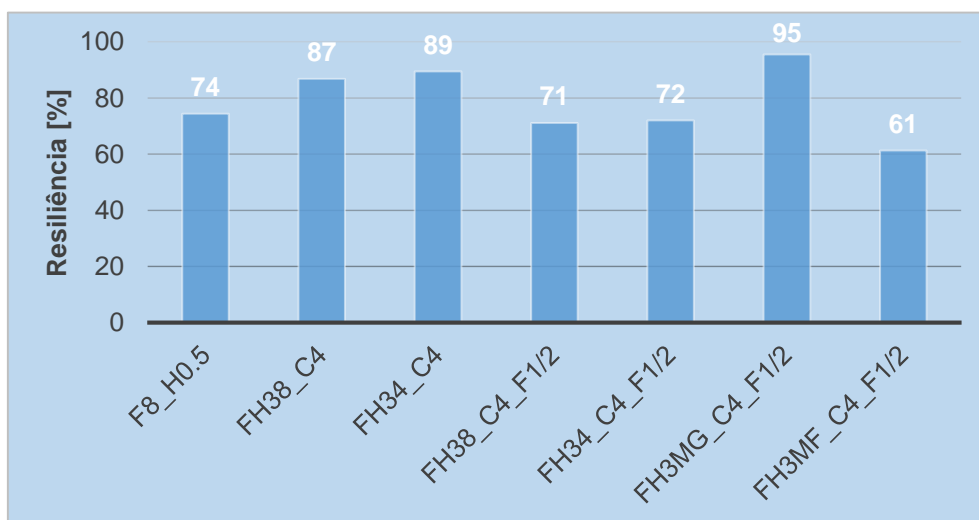


Figura 5.48 – Resiliência das placas com cola de farinha

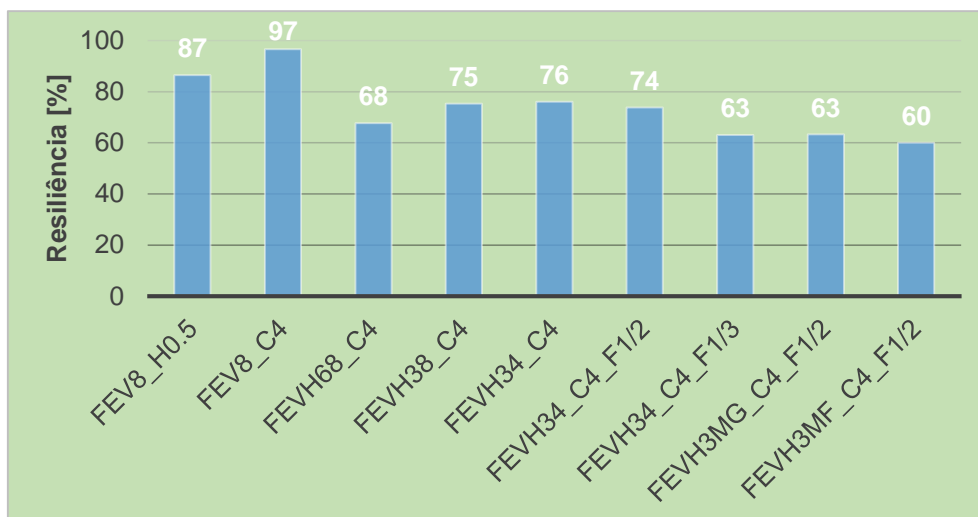


Figura 5.49 – Resiliência das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.12. Permeabilidade ao vapor de água

Este estudo foi realizado utilizando a outra metade das placas obtidas pelo ensaio de resistência à flexão, presentes na Figura 5.50 a) e b), sendo que nas placas com fibras a separação das metades foi feita com recurso a uma tesoura.

Este ensaio é de extrema importância, uma vez que nos edifícios há grande produção de vapor de água, quer devido à existência de pessoas, como de plantas e animais. Sendo a placa com carolo de milho e cola natural uma possibilidade para aplicações interiores, é essencial que esta seja permeável ao vapor de água.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma EN 12086 (CEN, 2013d), que indica que este ensaio pode ser efetuado utilizando dois métodos distintos: tina seca ou tina húmida. No primeiro método, a cápsula de ensaio contém sílica gel, simulando o estado seco, e na câmara climática é imposta uma humidade relativa elevada. Por outro lado, no método da tina húmida, a cápsula contém água destilada, simulando o estado húmido, e é imposta uma humidade relativa mais baixa. O método utilizado para a realização deste ensaio foi o método da tina húmida e o procedimento experimental foi o seguinte: cortaram-se as placas utilizando um serrote de ferro e tendo em conta a área dos recipientes (9 cm x 6 cm); colocou-se um saco de plástico em cada recipiente, de modo a garantir que toda a base das placas se encontra suscetível de ser atravessada por vapor de água; colocou-se uma altura de cerca de 2 cm de água destilada no interior de cada saco de plástico, colocado no interior dos recipientes, sendo que a norma impõe um mínimo de 1,5 cm (quantidade de água suficiente para garantir a permanência de água no interior do recipiente até à conclusão do ensaio); embebeu-se a água em algodão hidrófilo, de forma a minorar a possibilidade de ocorrerem salpicos durante o manuseamento do recipiente; isolou-se a amostra com fita adesiva, de modo a assegurar que a transmissão de vapor de água apenas se dá pelas superfícies inferior e superior da amostra e não pelas laterais (Figura 5.50 a)); mediram-se as dimensões da amostra com um paquímetro, com o intuito de saber a espessura e a área de exposição desta ao vapor de água; colocou-se cada amostra centrada

nos recipientes de ensaio e usaram-se elásticos para unir a amostra e o saco de plástico e impedir que o vapor de água saia por alguma folga (Figura 5.50 b) e c)); pesou-se o conjunto (recipiente e amostra) numa balança com precisão de 0,001 g, imediatamente após a montagem do ensaio; colocou-se o conjunto numa câmara climática com uma temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ e uma humidade relativa de $50 \pm 3\%$, registando a hora da colocação (Figura 5.50 d)); determinou-se diariamente a massa do conjunto de ensaio, em intervalos regulares de pelo menos 24 horas, registando também a hora da medição; prosseguiu-se com as pesagens até a quantidade de vapor de água que atravessava a amostra por unidade de tempo ser constante, ou seja, até cinco determinações sucessivas de diferença de massa por unidade de tempo estarem dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ do valor médio desses valores.



a) Isolamento da amostra



b) Preparação do conjunto



c) Amostras preparadas nos respectivos recipientes



d) Colocação dos conjuntos na câmara climática

Figura 5.50 – Fases do ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor de água das placas de carolo de milho

A diferença de massa por intervalo de tempo pode ser determinada pela Equação 7:

$$G_{1,2} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

Equação 7

$G_{1,2}$ – Diferença de massa num intervalo de tempo [mg/h]; m_1 e m_2 – Massas determinadas no tempo t_1 e t_2 , respetivamente [mg]; t_1 e t_2 – Tempos de duas pesagens sucessivas [h].

Quando a quantidade de vapor de água que atravessa a amostra por unidade de tempo é constante, é possível determinar a transmissão de vapor de água, através da Equação 8:

$$g = \frac{G}{A}$$

Equação 8

g – Transmissão de vapor de água [$\text{mg}/(\text{m}^2.\text{h})$]; G – Média de cinco determinações sucessivas de $G_{1,2}$ [mg/h]; A – Área de exposição da amostra [m^2].

A diferença de pressão do vapor de água é dependente do conjunto de condições de teste escolhido. Para as condições adotadas, temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, estado seco com uma humidade relativa de $50 \pm 3\%$ e estado húmido com $93 \pm 3\%$, a norma define uma diferença de pressão de 1210 Pa. Sabendo isto, é possível determinar a permeância ao vapor de água, dada pela Equação 9:

$$W = \frac{G}{A \times \Delta P}$$

Equação 9

W – Permeância ao vapor de água [$\text{mg}/(\text{m}^2.\text{h.Pa})$]; G – Média de cinco determinações sucessivas de $G_{1,2}$ [mg/h]; A – Área de exposição da amostra [m^2]; ΔP – Diferença de pressão do vapor de água ($= 1210$) [Pa].

Por fim, a permeabilidade ao vapor de água é dada pela Equação 10:

$$\delta = W \times d$$

Equação 10

δ – Permeabilidade ao vapor de água [$\text{mg}/(\text{m}.\text{h.Pa})$]; W – Permeância ao vapor de água [$\text{mg}/(\text{m}^2.\text{h.Pa})$]; d – Espessura da amostra [m].

Nas Figuras 5.51, 5.52 e 5.53 constam os valores obtidos neste ensaio.

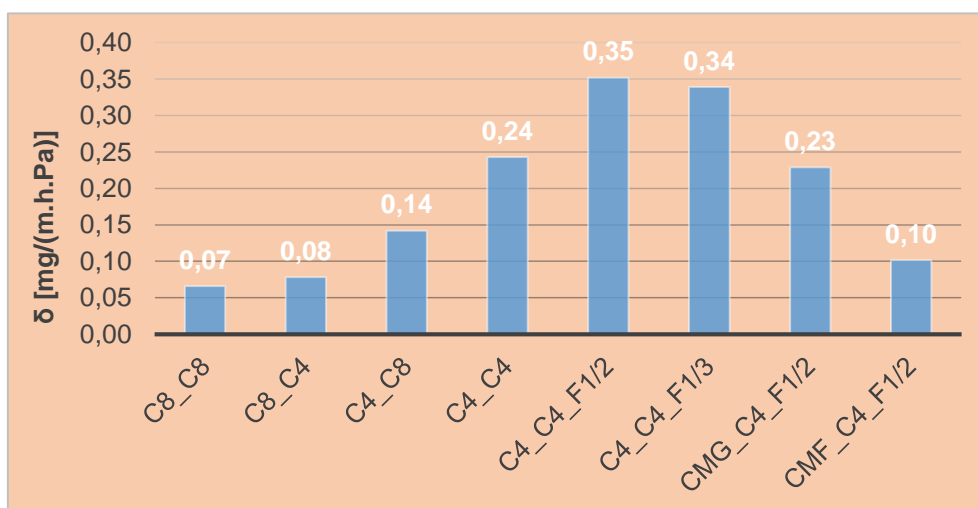


Figura 5.51 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de caseína

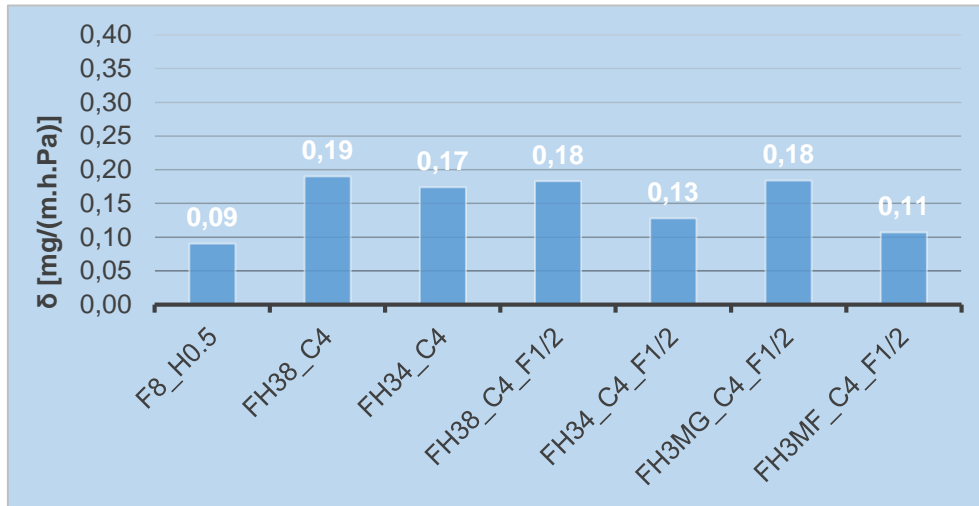


Figura 5.52 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de farinha

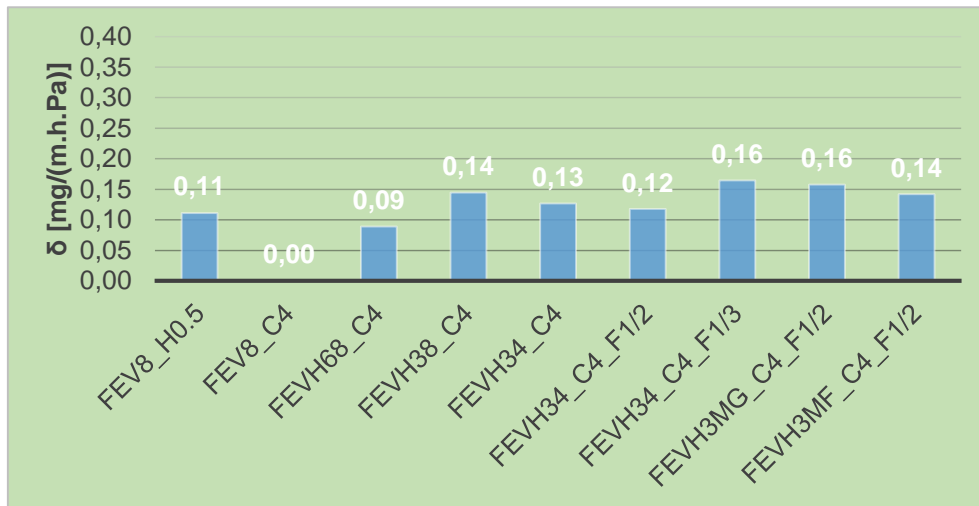


Figura 5.53 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola de farinha, clara de ovo e vinagre

5.13. Contaminação biológica

Os fungos são microrganismos de espécies muito diversas e encontram-se, por exemplo, no ar, na água e nas patas dos insetos. Nesta fase, as placas foram analisadas visualmente quanto à existência destes microrganismos, sendo que, após a realização do ensaio de resistência à flexão, onde as placas se partiram em duas metades, observou-se o seu interior. A olho nu, as placas de caseína não apresentaram vestígios da presença de fungos. Por outro lado, todas as placas constituídas por farinha de trigo apresentaram bolores no seu interior, tal como se pode observar nas Figuras 5.54 e 5.55.

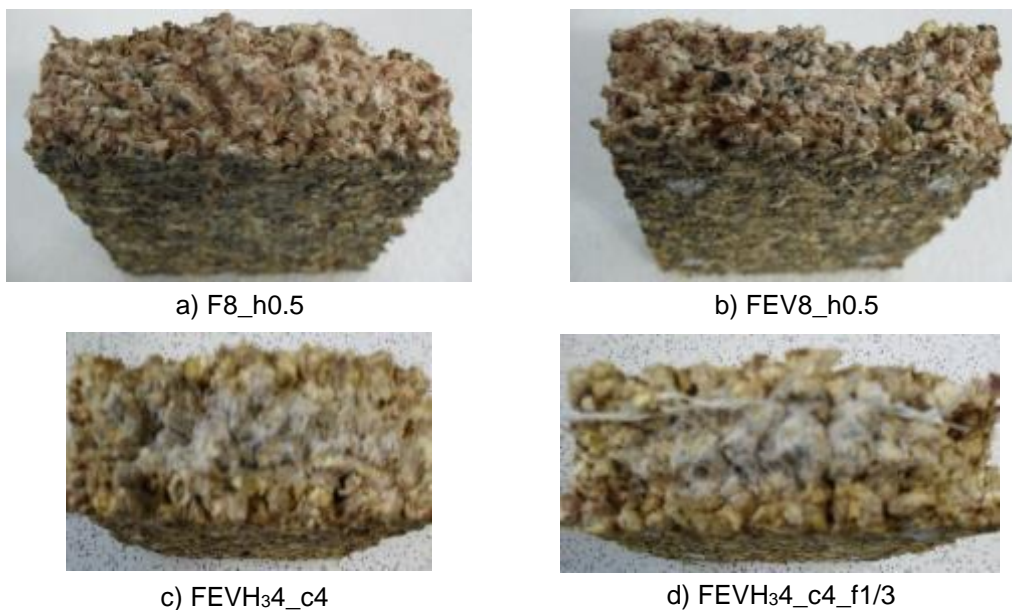


Figura 5.54 – Presença de fungos no interior das placas

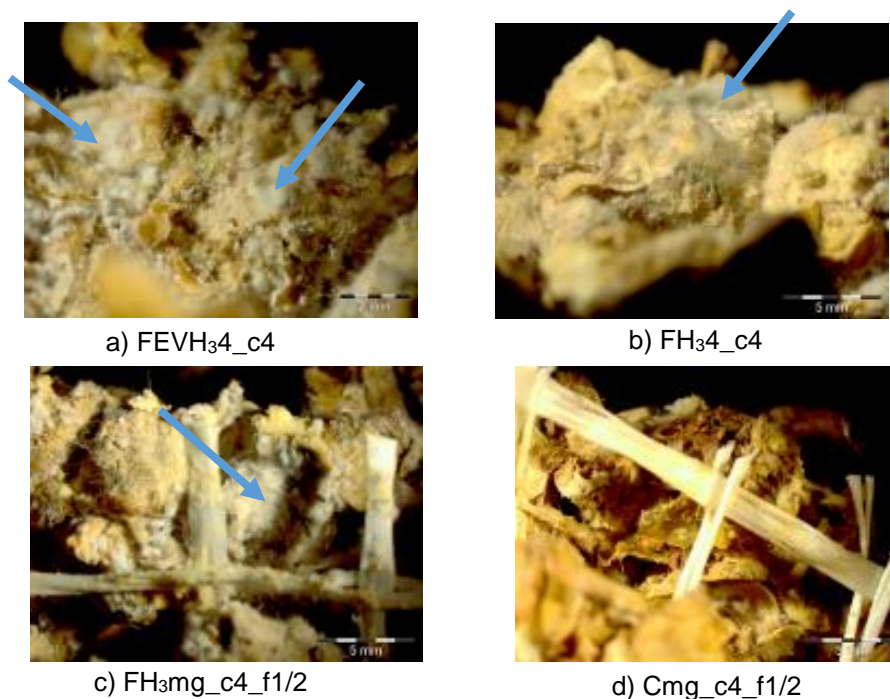


Figura 5.55 – Observação dos fungos na lupa binocular Olympus SZX12

5.14. Síntese

As placas que possuem farinha trigo expandem logo após desmoldagem, ficando maiores do que as de caseína. Contudo, ao longo do tempo em condições controladas, ambas vão diminuindo de volume.

A condutibilidade térmica baixou significativamente 14 dias após a desmoldagem e permanência em condições controladas, o que decerto se deve maioritariamente à secagem das amostras, uma vez que foi acompanhado da redução da sua massa volúmica.

O facto de as placas serem muito porosas (tal como se pretende para os fins em vista), das camadas constituintes do carolo possuírem durezas superficiais diferentes e da superfície das placas possuir uma mistura de cola e partículas de carolo faz com que hajam grandes desvios-padrão nos valores obtidos no ensaio de dureza superficial das placas.

De um modo geral, verifica-se que as placas que possuem maior massa volúmica, como são mais compactas, têm maior velocidade de propagação dos ultrassons e maior resistência superficial. Verifica-se também que, na sua maioria, as placas com maior resistência superficial, são menos resilientes.

É notável a melhoria da resistência à flexão nas placas que possuem fibras comparativamente com as que não possuem, no caso das redes colocadas a meio da espessura. Colocando a rede de fibra de vidro a um terço da espessura, não se verificam melhorias.

Após o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, a superfície inferior, que esteve em contacto com o ambiente húmido, aparentava estar húmida, mas, de um modo geral, a integridade das placas não parecia afetada.

É importante referir que a placa de FEV8_c4 ficou pouco resistente, o que justifica os baixos valores obtidos nos ensaios ou até mesmo a ausência destes, por não haver condições para a realização de alguns ensaios.

De um modo geral, as placas produzidas com as partículas denominadas por nº 8 (2,38 - 4,76 mm) apresentam melhores resultados que as placas com as restantes partículas.

Pela existência de fungos nas placas de FEV percebe-se que a quantidade de vinagre utilizada como fungicida e conservante foi insuficiente ou então o vinagre não é eficiente para este efeito. Contrariamente ao que se admitiu como hipótese inicial, as placas de FEV não possuem vantagem em relação às de F.

Comparando todos os resultados de cada tipo de cola, conclui-se que as melhores placas são: C8_c8 (caseína, granulometria 8, prensagem a frio durante 8 h), F8_h0.5 (farinha de trigo, granulometria 8, prensagem a quente durante 0,5 h) e FEVH₆8_c4 (farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 6 g de hidróxido de sódio, prensagem a frio durante 4 h).

6. PLACAS DE CAROLO COM COLAS NATURAIS E FABRICO LABORATORIAL

6.1. Molde

Para a realização destas placas desenvolveu-se um molde em metal com uma área útil de cerca de 15 cm x 30 cm, em que as peças possuem 0,2 cm de espessura, e que permite a execução de três placas em simultâneo (Figura 6.1). Para tal, o molde possui furos laterais que permitem a obtenção de placas de diversas espessuras, conforme a pressão definida, mantendo-a constante sem a atuação do equipamento de prensagem.



Figura 6.1 – Molde em metal para o fabrico laboratorial das placas

6.2. Constituintes e prensagem

Nesta fase fabricaram-se três placas de cada tipo que se considerou apresentar melhores resultados na fase anterior, incluindo fibras a meio da espessura. Deste modo, os resultados dos ensaios que se seguem correspondem à média e desvio padrão dos valores obtidos para as três placas de cada tipo.

Importa referir que, como na fase anterior se verificou que a quantidade de vinagre utilizada não parece alterar a suscetibilidade biológica das placas de FEV, nesta fase optou-se por retirar esse ingrediente. Por outro lado, como todas as placas constituídas por farinha de trigo apresentaram fungos, utilizou-se ácido bórico (**B**) como tentativa de prevenir esse aparecimento. Este produto é utilizado como biocida, eficaz na proteção da madeira contra o ataque de térmitas e a colonização de fungos prejudiciais; é de baixo custo, inodoro, incolor, não inflamável, solúvel em água e com baixa toxicidade ambiental (Gentz and Grace, 2006; Thevenon *et al.*, 2010). Assim, experimentou-se o uso de 1% de ácido bórico, em relação à massa da cola.

Para o molde em questão, utilizou-se uma quantidade de carolo de cerca de 445 g, sendo proporcional à quantidade utilizada na fase anterior, e uma quantidade de cola igual. Posto isto, utilizou-se 4,45 g de ácido bórico nas placas que continham farinha de trigo.

Os procedimentos utilizados para o fabrico das colas foram os mesmos da fase anterior. No entanto, foi utilizada uma misturadora (Figura 6.2), utilizada frequentemente para o fabrico de argamassas em laboratório, em vez da batedeira elétrica doméstica.

Quanto à prensagem, foi utilizado em simultâneo um macaco hidráulico e uma bomba manual de alta pressão com manómetro, presentes na Figura 6.3. Os valores da pressão tiveram como base as referências bibliográficas de Madison (1967) e D'Amico *et al.* (2010), referente à cola de caseína e às constituídas por farinha de trigo, respetivamente. Ao contrário da fase

anterior, optou-se por manter a placa sob pressão durante todo o tempo estipulado, exceto durante a prensagem a quente, em que se colocaram parafusos nos furos laterais do molde de forma a manter constante a pressão enquanto as placas se encontravam na estufa.



Figura 6.2 – Misturadora mecânica utilizada para o fabrico das colas em laboratório



Figura 6.3 – Prensagem das placas de fabrico laboratorial e equipamento de pressão

No Quadro 6.1 é apresentada a constituição destas placas, sendo que as quantidades de cada ingrediente dizem respeito às três placas de cada tipo. Por outro lado, a prensagem das três placas de cada tipo foi feita em conjunto. Apesar de não se referir no Quadro 6.1, todas as placas possuem partículas designadas como nº 8, com dimensões entre 2,38 e 4,76 mm.

Tal como na fase anterior, a prensagem das placas com cola de farinha de trigo e ácido bórico (FB) foi feita a quente, mas também a frio durante 4 h, para evitar deformações que possam ocorrer devido ao elevado teor de água da cola.

É importante esclarecer que se produziram placas semelhantes às da fase anterior, sendo que a formulação das C8_c8_f1/2 não sofreu qualquer alteração, nas de FB8_h0.5_f1/2 foi acrescentado o ácido bórico pela razão já referida e nas de FEHB8_c4_f1/2 foi retirado o vinagre e acrescentado o ácido bórico, como já foi mencionado, tendo sido utilizada uma quantidade de hidróxido de sódio proporcional à fase anterior.

Quadro 6.1 – Constituição das placas de fabrico laboratorial

Identificação das placas	Tipo de cola	Quantidade de cada ingrediente	Tipo de prensagem	Tempo de prensagem	Pressão (MPa)
C8_c8_f1/2	Caseína	(351 g caseína + 528 g água) + ((39 g hidróxido de sódio + 174 g água) + (69 g cal hidratada + 174 g água))	frio	8 h	1,4
FB8_h0.5_f1/2	Farinha de trigo + ácido bórico	444 g farinha de trigo + 891 g água + 13,35 g ácido bórico	quente (e frio)	45 min. a 105 °C (+ 4 h)	0,7
FEHB8_c4_f1/2	Farinha de trigo + clara de ovo + hidróxido de sódio + ácido bórico	444 g farinha de trigo + 717 g água + 6 claras ovo + (39 g hidróxido sódio + 174 g água) + 13,35 g ácido bórico	frio	4 h	0,7

O condicionamento das placas foi feito em sala condicionada, com uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, logo após o fabrico destas. Ao contrário das placas da fase anterior, devido ao seu tamanho, estas foram colocadas na horizontal, em cima de uma rede para permitir uma boa ventilação na parte inferior.

Quando não são apresentados ao longo do texto, todos os resultados individuais dos ensaios realizados podem ser consultados no Anexo D.

6.3. Viscosidade das colas

Com o objetivo de estudar o comportamento reológico dos três tipos de colas utilizados nesta fase, recorreu-se ao viscosímetro *Brookfield DV-II+ Pro*, que possui um sensor de temperatura e uma haste rotacional, permitindo a determinação da temperatura da cola e da viscosidade em função da velocidade angular. Assim, após a realização de ensaios preliminares, definiu-se o diâmetro ideal da haste, cerca de 3,15 mm (LV4), e, com base em D'Amico *et al.* (2013), admitiu-se uma velocidade de rotação de 10 rpm no *software* utilizado para a determinação desta característica.

Começou-se por preparar 150 g de cada cola, tendo em conta as respetivas quantidades de cada ingrediente, que são apresentadas no Quadro 6.2, e utilizando os modos de preparação referidos anteriormente. Para a obtenção da caseína, utilizou-se 300 ml de leite e 2,5 colheres de sopa de vinagre. Após a preparação das colas, estas foram colocadas num recipiente à medida da haste do viscosímetro.

Quadro 6.2 – Quantidades dos ingredientes para a determinação da viscosidade das colas

Cola	Quantidade de cada ingrediente
C	(39 g caseína + 59 g água) + ((4 g hidróxido de sódio + 20 g água) + (8 g cal hidratada + 20 g água))
FB	50 g farinha de trigo + 100 g água + 1,5 g ácido bórico
FEHB	(50 g farinha de trigo + 80 g água) + 1 clara de ovo + 1,5 g ácido bórico + (4 g hidróxido de sódio + 20 g água)

O procedimento experimental usado para a realização deste ensaio baseou-se no manual de instruções do equipamento utilizado: programou-se o *software*, definindo um tempo de ensaio de 60 minutos e as características necessárias, nomeadamente a haste (Figura 6.4 a)); colocou-se o recipiente com a cola sob a haste e o sensor de temperatura dentro do recipiente em contacto com o líquido (Figura 6.4 b)); deu-se início ao programa.

Note-se que inicialmente, devido à existência de bolhas de ar na cola (Figura 6.5 a)) consequentes da fermentação da mistura que liberta CO_2 , foi necessário colocar o recipiente com a cola de caseína na bomba de vácuo durante cerca de 5 minutos, tal como se pode observar na Figura 6.5 b).

Após o término do programa, obtiveram-se os gráficos presentes na Figura 6.6.

No que toca à cola de C (Figura 6.6 a)), no início do ensaio a quantidade era insuficiente, indicado pelos valores de viscosidade e percentagem de torque iguais a 0, pelo que foi necessário aumentar essa quantidade. Tirando esta fase inicial não representativa do comportamento reológico real da cola, a viscosidade foi diminuindo ao longo do tempo, bem como a temperatura. Neste caso, o ensaio durou cerca de 35 minutos, a partir do qual a percentagem de torque começou a diminuir, aproximando-se de 0, indicando que a cola começou a endurecer e, por isso, a haste deixou de registar a viscosidade real da cola.

Quanto à cola de FB (Figura 6.6 b)), o ensaio durou os 60 minutos inicialmente definidos. A temperatura da cola foi aumentando ao longo do tempo, provavelmente devido à fermentação dos ingredientes, pelo que a viscosidade foi diminuindo.



a) *Software*



b) Viscosímetro

Figura 6.4 – Equipamento para determinação da viscosidade das colas

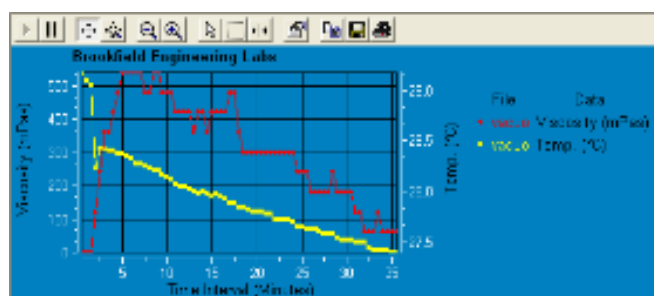


a) Presença de bolhas de ar

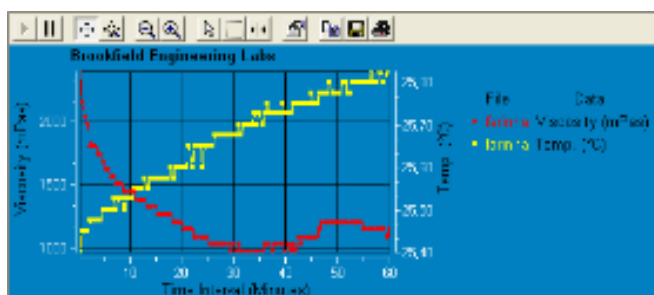


b) Colocação na bomba de vácuo

Figura 6.5 – Extração das bolhas de ar presentes na cola de caseína



a) Cola de C



b) Cola de FB

Figura 6.6 – Gráficos obtidos pelo programa de determinação da viscosidade

Relativamente à cola de FEHB, o programa deu erro, uma vez que esta era granular e, por isso, excedeu a capacidade de medição do equipamento.

Os valores médios e os desvios-padrão da viscosidade das colas, apresentados no Quadro 6.3, foram determinados com base nos valores mais frequentes dos gráficos e dos dados extraídos do programa.

Quadro 6.3 – Viscosidade das colas

Cola	Viscosidade (mPa.s)
C	300 ± 110 (a cerca de 28 °C)
FB	1080 ± 120 (a cerca de 26 °C)
FEHB	-

6.4. Massa volúmica e teor de água

Os ensaios foram realizados com base nos procedimentos de ensaio descritos na secção 5.3..

Nas Figuras 6.7 e 6.8 constam os valores médios e os desvios-padrão de cada tipo de placa quanto à massa volúmica e à variação do teor de água, respetivamente.

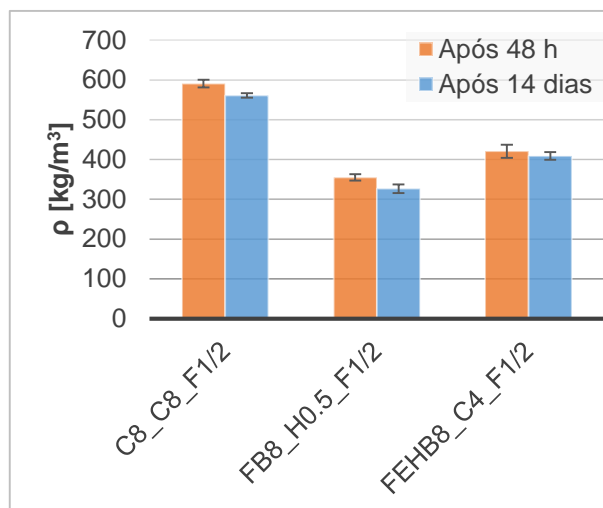


Figura 6.7 – Massa volúmica das placas de fabrico laboratorial

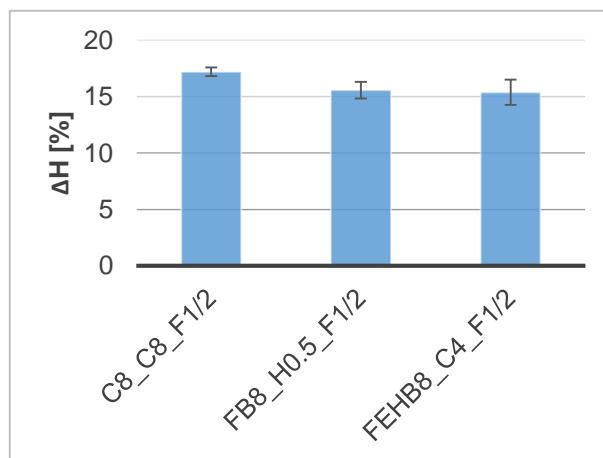


Figura 6.8 – Variação do teor de água das placas de fabrico laboratorial

Todas as placas retraíram e perderam massa ao longo do tempo em condições controladas, pelo que a massa volúmica diminuiu após os 14 dias em sala condicionada.

6.5. Características visuais e olfativas

À semelhança do que foi descrito na secção 5.4., as placas foram avaliadas em termos visuais e olfativos.

A aparência das placas é apresentada na Figura 6.9. A cola das placas FEHB8_c4_f1/2 ficou granular, pelo que foi necessário fazer a mistura com a mão, o que levou a que ficassem com “machas” de cola, uma vez que a mistura não ficou homogénea. É importante referir que as placas C8_c8_f1/2 ficaram ligeiramente empenadas após o término do processo de prensagem, visto que a tampa e divisórias do molde também o ficaram.



a) C8_c8_f1/2



b) FB8_h0.5_f1/2



c) FEHB8_c4_f1/2

Figura 6.9 – Placas com cola natural artesanal e fabrico laboratorial

No Quadro 6.4 encontram-se descritas as características de cada placa. Exteriormente, as placas aparentam não possuir fungos. Há ainda que referir que não houve alteração visual da cor das placas ao longo do tempo e que, no que toca ao odor, apenas as placas de caseína possuíam um odor forte quando cheirado de perto, que ao longo do período de condicionamento foi diminuindo. As fissuras descritas ocorrem no início do processo de condicionamento das placas, sendo que ao longo do tempo não se verificam mais ocorrências.

Quadro 6.4 – Características das placas de fabrico laboratorial

Identificação das placas	Cor	Fissuras
C8_c8_f1/2_1	Amarelo escuro	-
C8_c8_f1/2_2		
C8_c8_f1/2_3		
FB8_h0.5_f1/2_1	Cor original do carolo	Uma fissura lateral (em metade de uma face lateral) com espessura entre 2 e 3 mm
FB8_h0.5_f1/2_2		Fissuras em todas as laterais, com espessuras entre 2 e 6 mm (na interseção da rede com a lateral); abriu uma fissura ao meio durante o manuseamento (devido ao manuseamento)
FB8_h0.5_f1/2_3		Fissuras em todas as laterais, com espessuras entre 2 e 9 mm (na interseção da rede com a lateral)
FEHB8_c4_f1/2_1	Cor original do carolo misturada com amarelo escuro e algumas "manchas" de cola	Pequenas fissuras nas laterais com espessura entre 3 e 5 mm
FEHB8_c4_f1/2_2		Pequenas fissuras nas laterais com espessura entre 3 e 8 mm
FEHB8_c4_f1/2_3		Pequenas fissuras nas laterais com espessura entre 2 e 6 mm

6.6. Condutibilidade térmica e velocidade de propagação dos ultrassons

O ensaio de condutibilidade térmica foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.5.. Foram feitas seis medições em pontos diferentes, três em cada face da placa.

Na Figura 6.10 constam os valores médios e os desvios-padrão da condutibilidade térmica de cada tipo de placas.

Por outro lado, o ensaio de velocidade de propagação dos ultrassons foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.6.. Relativamente à propagação indireta, os pontos distam entre si 10 cm e, no que toca à propagação direta, a distância entre os pontos é igual à largura ou ao comprimento da placa, dependendo da localização dos pontos.

Tal como aconteceu nas placas de fabrico artesanal, a velocidade de propagação direta dos ultrassons é muito inferior à indireta, pelo que se optou por expô-las de forma separada. Na Figura 6.11 são apresentados valores médios e os desvios-padrão obtidos neste ensaio.

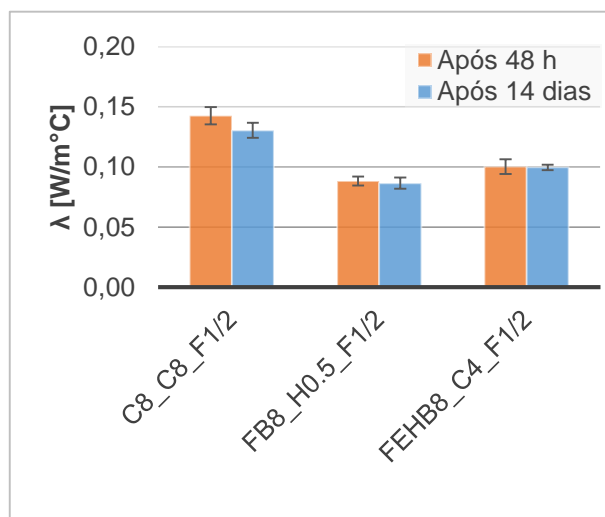


Figura 6.10 – Condutibilidade térmica das placas de fabrico laboratorial

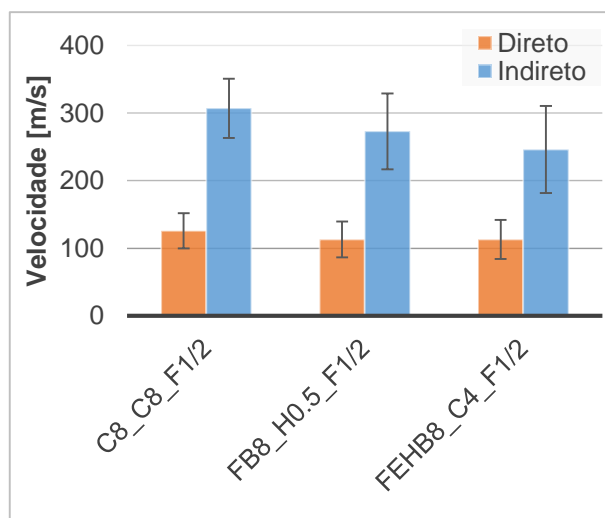


Figura 6.11 – Velocidade de propagação direta e indireta dos ultrassons das placas de fabrico laboratorial

6.7. Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular

O ensaio de dureza superficial foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.7..

Por outro lado, o ensaio de resistência superficial foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.8..

Na Figura 6.12 constam os valores médios e desvios-padrão da dureza superficial por durómetro e da resistência superficial por esclerómetro pendular obtidos para cada tipo de placas.

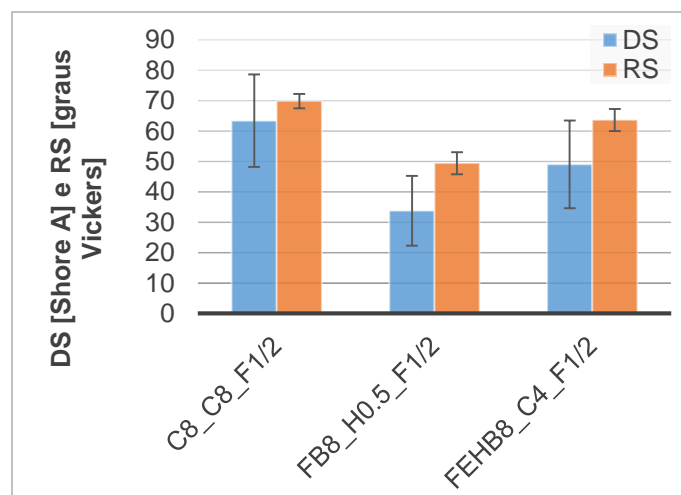


Figura 6.12 – Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular das placas de fabrico laboratorial

6.8. Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e resiliência

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.9.. Tentou-se garantir a perpendicularidade entre a placa e a célula de carga, de modo a não influenciar os resultados. Contudo, devido à forte tendência para as placas empenarem, nem sempre foi possível cumprir esta exigência.

Quanto ao ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, seguiu-se o procedimento de ensaio descrito na secção 5.10..

Os procedimentos de ensaio utilizados para a realização dos ensaios de resistência à compressão e resiliência foram descritos na secção 5.11..

Na Figura 6.13 constam os valores médios e desvios-padrão referentes aos ensaios de resistência à flexão, de módulo de elasticidade dinâmico e de resistência à compressão. Por outro lado, na Figura 6.14 constam os valores médios e desvios-padrão referentes aos ensaios de resiliência.

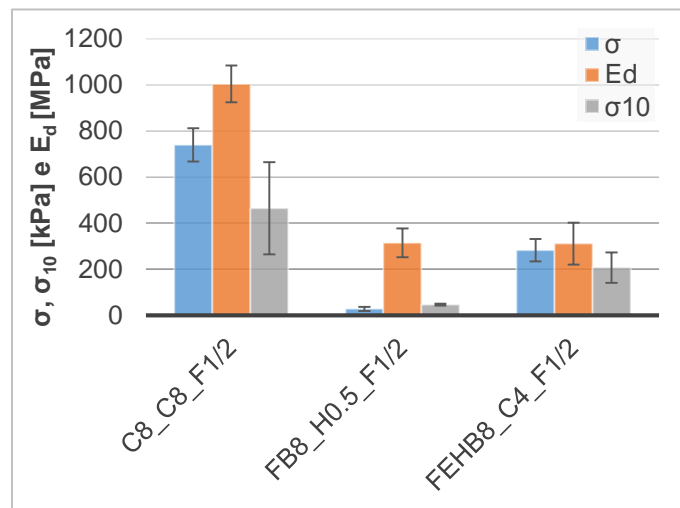


Figura 6.13 – Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das placas de fabrico laboratorial

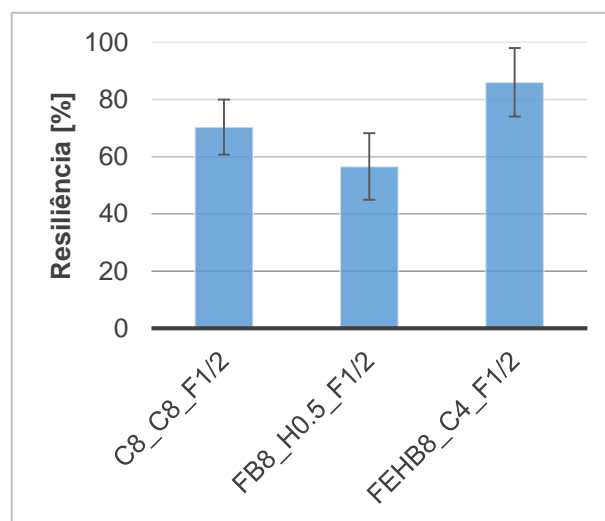


Figura 6.14 – Resiliência das placas de fabrico laboratorial

6.9. Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.12..

Na Figura 6.15 são apresentados os valores médios e desvios-padrão obtidos para cada tipo de placas.

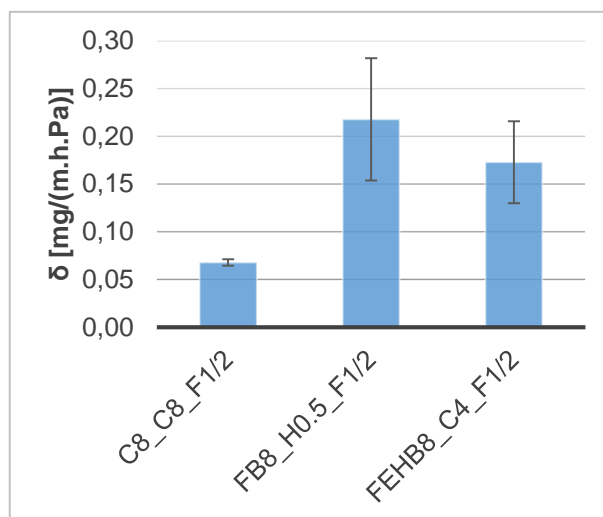


Figura 6.15 – Permeabilidade ao vapor de água das placas de fabrico laboratorial

6.10. Bio-suscetibilidade

Para este ensaio foram utilizados pedaços íntegros das metades das placas que resultaram do ensaio de resistência à flexão e se utilizaram posteriormente no ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor de água.

As placas foram analisadas visualmente quanto à existência de microrganismos, sendo que, a olho nu, não apresentaram vestígios da presença de fungos.

Para avaliar a sua suscetibilidade à contaminação biológica por bolores seguiu-se uma metodologia muito agressiva para este tipo de materiais, adaptada da norma ASTM D 5590-00 (ASTM, 2000), e utilizaram-se três provetes representativos de cada uma das três placas de C8_c8_f1/2 e de FEHB8_c4_f1/2 e dois de cada placa de FB8_h0.5_f1/2. Como material biológico foi utilizada uma cultura pura de *Aspergillus niger* mantida na coleção do LNEC.

O procedimento experimental deste ensaio foi o seguinte: cortaram-se amostras com cerca de 4 cm x 4 cm de área superficial, utilizando um serrote de ferro (muito difícil de cortar com dimensões tão pequenas); esterilizaram-se as amostras embrulhadas em papel de prata; preparou-se o meio de malte (meio para o fungo se desenvolver) dentro de um frasco de Kolle na autoclave; colocou-se uma rede sobre o meio de malte para servir de suporte à amostra e evitar o contacto direto desta com o meio de cultura (Figura 6.16 a) e b)); com uma micropipeta retirou-se um 1 ml de uma suspensão de esporos preparada num balão e aplicou-se sobre a amostra, espalhando por cima e à volta desta (Figura 6.16 c) e d)); fechou-se o frasco e repetiu-se o processo para todas as amostras (Figura 6.16 e)); avaliou-se durante quatro semanas o desenvolvimento de fungos na superfície das amostras, que se mantiveram em ambiente condicionado, a uma humidade relativa de $70 \pm 5\%$ e temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 6.16 f)).

A escala de desenvolvimento de fungos utilizada foi a seguinte: 0 = sem crescimento, 1 = crescimento em menos de 10% da superfície da amostra, 2 = crescimento em 10 a 30% da

superfície da amostra, 3 = crescimento em 30 a 60% da superfície da amostra e 4 = crescimento a partir de 60% da superfície da amostra.

A viabilidade da suspensão de esporos foi verificada em três provetes de papel de filtro Whatman nº 1, que serviram de controle.

Na Figura 6.17 constam os valores médios obtidos para cada tipo de placas e na Figura 6.18 são visíveis alguns dos provetes após o término deste ensaio.



a) Colocação da rede sobre o meio de malte



b) Colocação da amostra sobre a rede



c) Extração da suspensão de esporos do balão com o auxílio da micropipeta



d) Aplicação da suspensão de esporos sobre a amostra



e) Preparação de todas as amostras

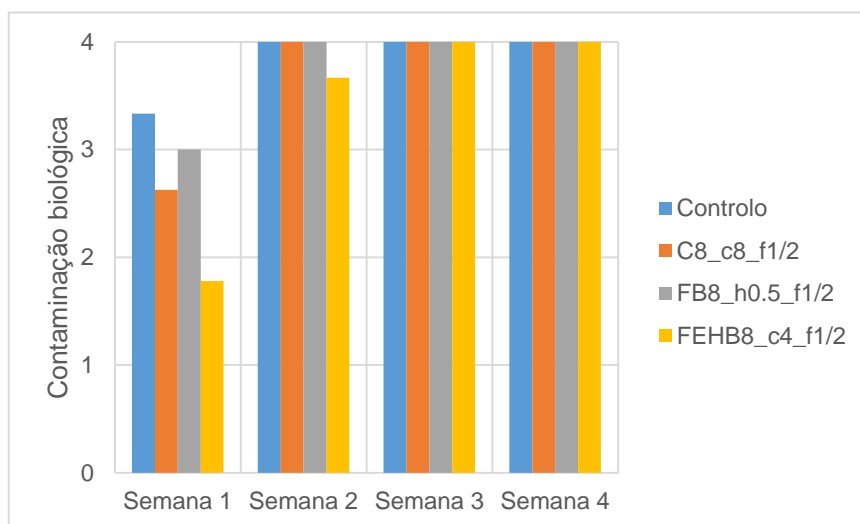


f) Colocação das amostras em ambiente condicionado

Figura 6.16 – Fases do ensaio de bio-suscetibilidade

Analisando a Figura 6.17, é possível observar que os provetes de FEHB8_c4_f1/2 apresentaram um grau de desenvolvimento de cerca de 2 na primeira semana de avaliação, correspondente à presença de fungos entre 10 a 30% da superfície, enquanto os restantes exibiram, no mesmo período, desenvolvimento 3, aproximadamente, com 30 a 60% da superfície infetada. Contudo, na segunda semana de ensaio, todos os provetes alcançaram o valor máximo da escala de avaliação do grau de desenvolvimento dos fungos na superfície dos provetes, com pelo menos 60% da superfície infetada. Após o término do ensaio, era visível a elevada contaminação biológica dos provetes, visível na Figura 6.18.

Apesar de todos os provetes apresentarem uma elevada contaminação biológica, visualmente é possível perceber que os que apresentaram melhores resultados foram os correspondentes às placas de FB8_h0.5_f1/2, presentes na Figura 6.18 c), uma vez que a suspensão de esporos foi aplicada por cima de todos os provetes e estes são os únicos que não possuem fungos na superfície superior. Uma explicação possível para esta diferença pode ser o facto de a esterilização destes provetes ter sido mais eficaz do que o dos restantes, uma vez que, na prática, estes levaram dois pré-tratamentos: primeiro as placas foram prensadas a quente, com a colocação em estufa a cerca de 105°C, e depois os provetes foram esterilizados por vapor de água, procedimento habitual do ensaio de bio-suscetibilidade. Note-se que os fungos morrem com temperaturas superiores a 60°C. Por outro lado, os outros provetes, como por exemplo os presentes na Figura 6.18 b), possuem fungos no topo com diversas cores, o que não era esperado acontecer porque o fungo aplicado é de cor preta.



0 = sem crescimento, 1 = crescimento < 10% da superfície, 2 = crescimento 10-30% da superfície, 3 = crescimento 30-60% da superfície e 4 = crescimento > 60% da superfície

Figura 6.17 – Avaliação do grau de desenvolvimento dos fungos na superfície dos provetes das placas de fabrico laboratorial



a) Provetes nos frascos de Kolle



b) C8_c8_f1/2



c) FB8_h0.5_f1/2



d) FEHB8_c4_f1/2

Figura 6.18 – Provete após o término do ensaio de contaminação biológica

6.11. Síntese

Os valores de massa volúmica e condutibilidade térmica das placas com colas naturais e fabrico laboratorial são relativamente semelhantes comparando as determinações feitas após 48 h e 14 dias em condições controladas.

O facto da resistência da superfície inferior das amostras das placas, que estiveram em contacto com o ambiente muito húmido no ensaio de permeabilidade ao vapor de água, não parecer afetada surge como muito positivo.

Nas condições do agressivo ensaio de bio-suscetibilidade realizado, o material é muito suscetível ao desenvolvimento de bolores.

No que toca às placas FB8_h0.5_f1/2, após a desmoldagem ficaram pouco resistentes, o que explica os baixos valores obtidos principalmente nos ensaios de resistência. É importante referir que nas extremidades as placas se encontravam mais resistentes, o que pode ser explicado pelo facto de estarem mais expostas à temperatura elevada de produção que o interior da placa, pelo que expandiram mais e ficaram menos consistentes. Considera-se ser uma situação de produção a rever.

7. PLACAS DE CAROLO COM COLA COMERCIAL E FABRICO LABORATORIAL

7.1. Molde

Nesta fase, utilizou-se o molde da fase anterior (Figura 6.1), com dimensão de cerca de 15 cm x 30 cm, sendo que apenas se fez uma placa de cada vez e não três em simultâneo, uma vez que, por indisponibilidade de material, só se efetuou uma placa de cada tipo.

7.2. Constituintes e prensagem

Nesta fase utilizou-se uma cola designada comercialmente como Bio Binder 701 (**BB**), que tem como base extratos vegetais. Esta é utilizada como aglutinante para granulado de cortiça e usa-se em conjunto com um catalisador. Deste modo, à semelhança do que é definido na ficha técnica (ANEXO E) disponibilizada pelo fabricante, a FabriRes, utilizou-se 10% de cola, em relação à massa de carolo, e 20% de catalisador, em relação à massa da cola.

A quantidade de carolo de milho utilizada foi igual a 445 g e, devido aos resultados obtidos nas fases anteriores, usaram-se partículas designadas como nº 8 (2,38-4,76 mm) e fibras a meio da espessura.

Para a prensagem utilizou-se o mesmo equipamento da fase anterior (Figura 6.3). No que toca ao tipo, pressão e tempo da prensagem, optou-se por fazer algumas experimentações. Primeiro, seguiu-se o tipo de prensagem recomendado pelo fabricante da cola e, consoante os resultados visuais, foram-se fazendo outras tentativas. À semelhança da fase anterior, optou-se por manter a placa sob pressão durante todo o tempo estipulado, exceto durante a prensagem a quente.

No Quadro 7.1 é apresentada a constituição das placas, bem como características da prensagem.

O condicionamento das placas foi feito em sala condicionada, com uma humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, logo desde o seu fabrico. Segundo o fabricante, é necessário esperar apenas cerca de 48 h para a cola estabilizar. Contudo, optou-se por esperar aproximadamente 14 dias para se realizarem os ensaios, à semelhança das fases anteriores.

Quando não são apresentados ao longo do texto, todos os resultados individuais dos ensaios realizados podem ser consultados no Anexo D.

Quadro 7.1 – Constituição e características da prensagem das placas com cola comercial

Identificação das placas	Tipo de cola	Quantidade de cada ingrediente	Tipo de prensagem	Tempo de prensagem	Pressão (MPa)
BB8_h8_f1/2	Bio Binder 701 (FabriRes)	44,5 g aglutinante + 8,9 g catalisador	quente	8 h a 120°C	1,4
BB8_c8_f1/2			frio	8 h	
BB8_c4_f1/2				4 h	

7.3. Viscosidade da cola

Como a cola é comercial, não foi necessário determinar a viscosidade da cola, pois essa informação consta na ficha técnica do produto (Anexo E). Deste modo, a cola BB tem uma viscosidade de 1500 ± 500 (mPa.s), medida a 25 °C.

7.4. Massa volúmica e teor de água

O ensaio foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.3..

Na Figura 7.1 são apresentados os valores obtidos no que toca à massa volúmica das placas. Constata-se que as placas sofreram uma ligeira expansão, no que toca ao volume após 48 horas e depois de 14 dias em condições controladas. A BB8_h8_f1/2 aumentou ligeiramente de massa, sendo que as restantes sofreram uma diminuição deste parâmetro, que pode ser explicado pela perda de material que se desagregou da placa.

Quanto à variação do teor de água, as placas apresentaram valores muito baixos: 0%, devido ao aumento de massa, 0,2% e 1,5% relativamente às placas BB8_h8_f1/2, BB8_c8_f1/2 e BB8_c4_f1/2, respetivamente.

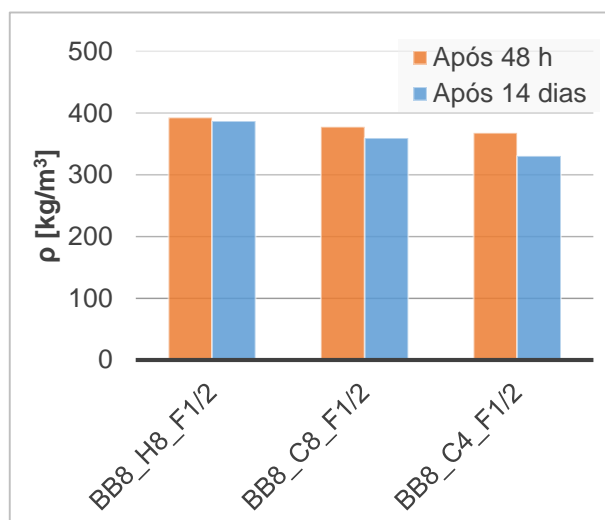


Figura 7.1 – Massa volúmica das placas com cola comercial

7.5. Características visuais e olfativas

À semelhança do que foi descrito na secção 5.4., as placas foram avaliadas em termos visuais e olfativos.

A aparência das placas pode ser observada na Figura 7.2.

No Quadro 7.2 constam as características das três placas. Note-se que não houve alteração da cor ao longo do tempo e que estas não apresentavam fungos no exterior, sendo que a nível interior foram analisadas após o ensaio de resistência à flexão.

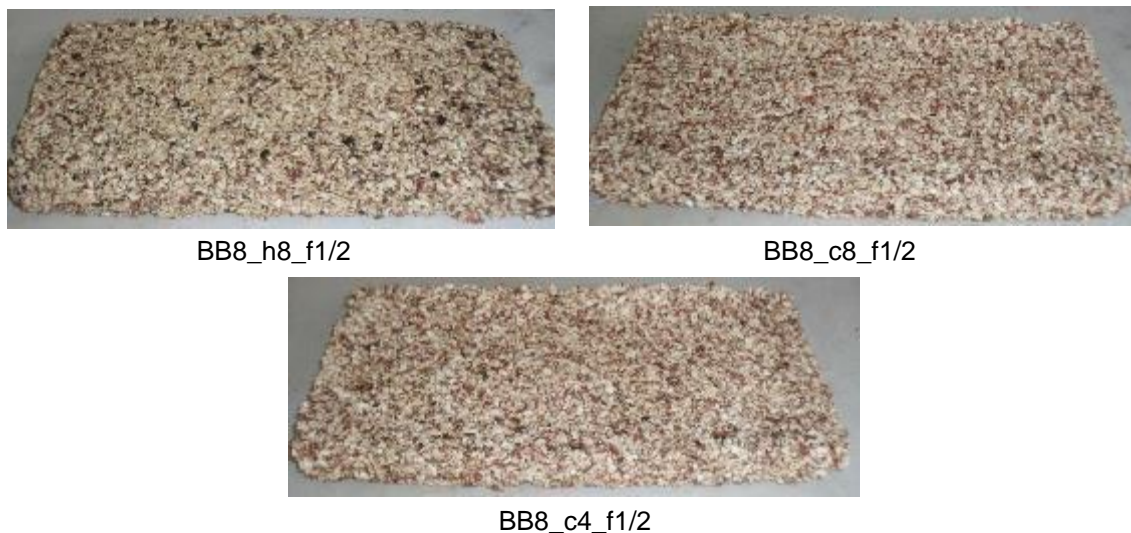


Figura 7.2 – Placas com cola natural comercial

Quadro 7.2 – Características das placas com cola comercial

Identificação das placas	Cor	Odor	Fissuras
BB8_h8_f1/2	Cor original do carolo com manchas castanho-escuras	Odor ligeiro quando cheirado de perto	Sem fissuras
BB8_c8_f1/2	Cor original do carolo	Sem odor	Fissura numa das laterais, que vai aumentando com o manuseamento
BB8_c4_f1/2			

7.6. Condutibilidade térmica

O ensaio foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.5.. Foram feitas seis medições em pontos diferentes, três em cada face da placa.

Na Figura 7.3 constam os valores médios e os desvios-padrão obtidos neste ensaio.

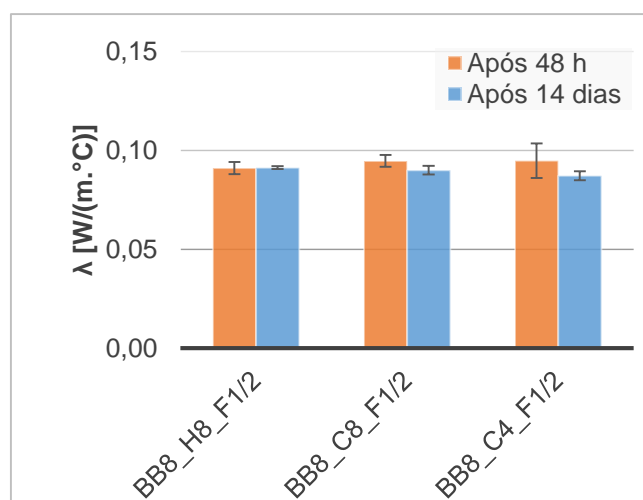


Figura 7.3 – Condutibilidade térmica das placas com cola comercial

7.7. Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular

O ensaio de dureza superficial foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.7..

Por outro lado, o ensaio de resistência superficial foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.8..

Na Figura 7.4 constam os valores médios e os desvios-padrão obtidos neste ensaio.

Analisando a Figura 7.4, conclui-se que a dureza superficial possui um desvio padrão muito elevado em todas as placas.

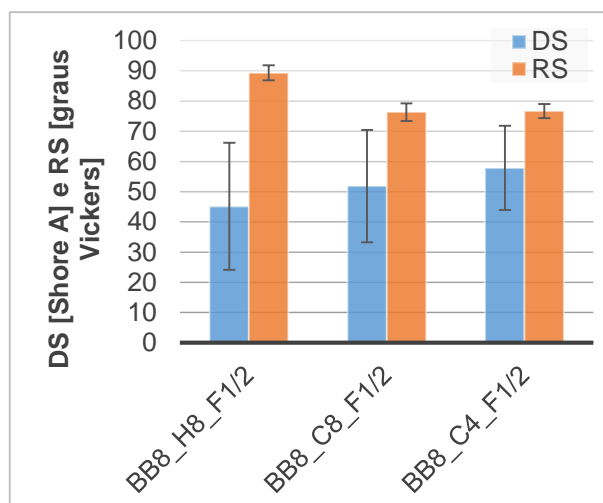


Figura 7.4 – Dureza superficial por durómetro e resistência superficial por esclerómetro pendular das placas com cola comercial

7.8. Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e resiliência

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.9..

Quanto ao ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, seguiu-se o procedimento de ensaio descrito na secção 5.10..

O ensaio de resistência à compressão e resiliência foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.11..

Na Figura 7.5 constam os valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão para as três placas. Por outro lado, na Figura 7.6 são apresentados os valores referentes à resiliência das placas.

7.9. Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 5.12..

Na Figura 7.7 constam os valores obtidos neste ensaio. Note-se que a amostra de BB8_c4_f1/2 partiu-se durante o ensaio, pelo que não foi possível obter um valor de permeabilidade ao vapor de água.

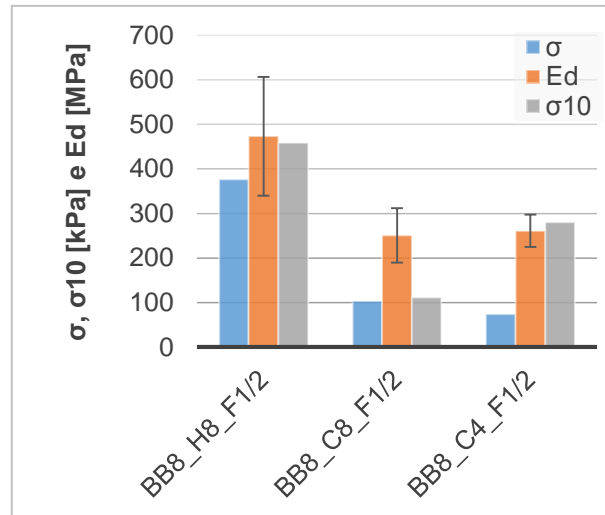


Figura 7.5 – Resistência à flexão, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das placas com cola comercial

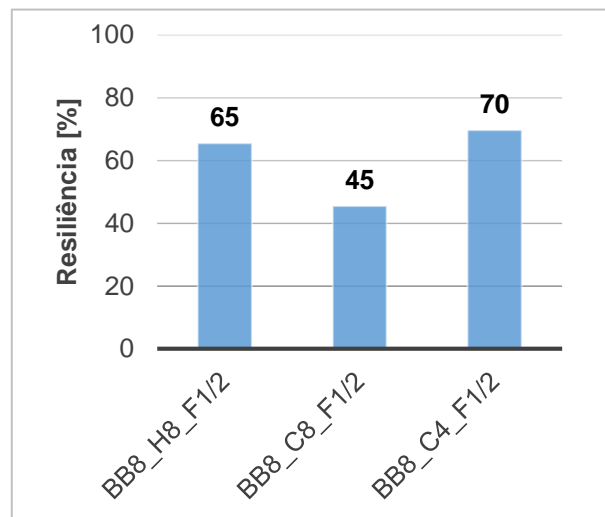


Figura 7.6 – Resiliência das placas com cola comercial

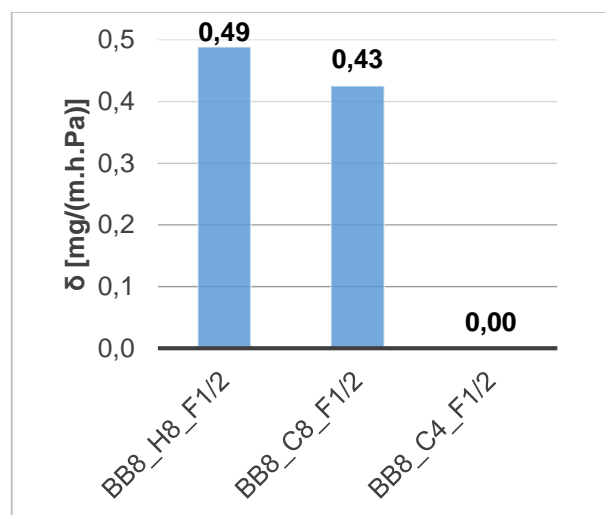


Figura 7.7 – Permeabilidade ao vapor de água das placas com cola comercial

7.10. Bio-suscetibilidade

Após o ensaio de resistência à flexão, verificou-se que as placas não apresentavam fungos no interior.

Para a realização do ensaio de contaminação biológica destas placas, utilizaram-se dois provetes de cada tipo. O ensaio foi realizado com base no procedimento de ensaio descrito na secção 6.14..

Os resultados obtidos no ensaio indicam que todos os provetes tiveram um grau de desenvolvimento dos fungos na sua superfície de 4 durante as quatro semanas, ou seja, logo na primeira semana de avaliação os provetes já possuíam pelo menos 60% da superfície contaminada.

Há que referir que, nos provetes da placa BB8_h8_f1/2 (Figura 7.8), todas as superfícies foram infetadas com fungos, sendo que, mesmo com dois pré-tratamentos de desinfecção, isto é, prensagem das placas a uma temperatura de cerca de 120°C e, posteriormente, uma esterilização por vapor de água, houve um grande desenvolvimento de fungos em toda a envolvente dos provetes.



Figura 7.8 – Proвете de BB8_h8_f1/2 após o término do ensaio de contaminação biológica

7.11. Síntese

Os valores de massa, volume e condutibilidade térmica são semelhantes comparando as medições feitas após 48 h e 14 dias depois em condições controladas.

Com o manuseamento, algumas partículas de carolo de milho iam caindo com o manuseamento, o que indica que as placas não devem ter cola suficiente, se bem que na placa BB8_h8_f1/2 esse facto não foi muito significativo.

Em termos visuais e de tato não há grande diferença entre as placas BB8_c8_f1/2 e BB8_c4_f1/2. Contudo, como ambas eram frágeis, em termos mecânicos apresentaram diferenças, nem sempre coerentes com o que seria expectável.

Após o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, a superfície inferior e a resistência das placas não pareciam afetadas.

8. DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o término da campanha experimental e de analisados os resultados obtidos, é possível fazer a comparação dos valores das placas com colas naturais de fabrico artesanal e de fabrico laboratorial, bem como dos resultados relativos às placas com colas naturais e com cola comercial. É ainda possível analisá-los comparativamente a outras placas semelhantes e a isolamentos convencionais, com o objetivo de retirar algumas conclusões sobre a viabilidade das placas desenvolvidas neste trabalho e interesse em continuar o seu desenvolvimento e otimização.

8.1. Placas com colas naturais de fabrico artesanal e de fabrico laboratorial

Tal como referido na campanha experimental, foram fabricadas placas semelhantes com colas naturais de duas formas distintas, artesanalmente e em laboratório, como se pode observar no Quadro 8.1.

Quadro 8.1 – Identificação das placas semelhantes de fabrico artesanal e laboratorial

Fabrico artesanal	Fabrico laboratorial
C8_c8	C8_c8_f1/2
F8_h0.5	FB8_h0.5_f1/2
FEVH ₆ 8_c4	FEHB8_c4_f1/2

É importante comparar as placas de fabricos diferentes de modo a perceber a influência da prensagem, bem como de ligeiras alterações na constituição das colas e das placas. Assim, nas Figuras 8.1, 8.2 e 8.3 encontram-se os resultados das placas com constituição muito semelhante mas tipo de fabrico diferente. Note-se que para a massa volúmica e a condutibilidade térmica se utilizaram os resultados obtidos 14 dias após a permanência em sala condicionada. Há ainda que referir que a nível artesanal apenas se fabricou uma placa, sendo que em laboratório se produziram três do mesmo tipo, pelo que apenas estas últimas possuem médias e desvios-padrão relativamente a alguns dos ensaios realizados.

As placas de fabrico artesanal possuem diferenças significativas entre os valores registados após 48 horas e 14 dias depois em condições controladas, no que toca à massa volúmica e à condutibilidade térmica. Contrariamente, nas placas de fabrico laboratorial, não há grande diferença entre estes dois períodos de medição. Tal diferença poderá dever-se à colocação das placas de fabrico laboratorial em sala condicionada logo após a desmoldagem, enquanto as de fabrico artesanal permaneceram inicialmente um a dois dias em condições não controladas.

Analisando os resultados verifica-se que, tal como expectável, quanto maior é a massa volúmica, maior é também a condutibilidade térmica. Pode-se concluir também que, de um modo geral, quanto maior a massa volúmica, maior a resistência à flexão.

No que toca às placas C8_c8 e C8_c8_f1/2, conclui-se que a resistência superficial, a condutibilidade térmica e a permeabilidade ao vapor de água são muito semelhantes, pelo que a inclusão da rede de fibra de vidro não intervém nestas propriedades. A média da resistência à flexão das placas C8_c8_f1/2 é superior à da placa C8_c8, o que era expectável devido à colocação de fibras nestas placas. Contudo, os valores das restantes resistências mecânicas são inferiores aos desta placa. O facto das placas de fabrico laboratorial terem uma espessura de cerca de 25 mm e a de fabrico artesanal ter aproximadamente 30 mm indica que, para uma quantidade proporcional de carolo tendo em conta as dimensões dos moldes, foi aplicada uma pressão mais elevada durante a prensagem em laboratório, pelo que a maior compactidade das placas justifica algumas diferenças nos resultados, nomeadamente no que toca à massa volúmica.

Quanto às placas F8_h0.5 e FB8_h0.5_f1/2, há uma grande diferença de resultados. As placas FB8_h0.5_f1/2 possuem a vantagem de terem menor massa volúmica e menor condutibilidade térmica e serem, por isso, mais permeáveis ao vapor de água. Contudo, em termos de resistências mecânicas, estas placas FB8_h0.5_f1/2 possuem valores muito baixos comparativamente com a F8_0.5, apesar de conterem fibras. Estes valores podem ser explicados pelo facto das placas de FB8_h0.5_f1/2 terem ficado muito fracas e pouco compactas, com uma espessura de cerca de 39 mm, contrariamente ao que ocorreu com a F8_h0.5, que ficou com uma espessura de aproximadamente 30 mm. Tal diferença pode dever-se à alteração de método e equipamento para a prensagem a quente, uma vez que artesanalmente se utilizou um forno elétrico, com uma taxa de aquecimento progressivo, enquanto em laboratório se usou uma estufa com temperatura constante, e/ou à pressão imposta no processo de fabrico. Outra possível explicação para a disparidade de resultados pode ser a presença de ácido bórico, que apenas foi utilizado no fabrico das colas em laboratório.

As placas FEHB8_c4_f1/2 possuem algumas vantagens em relação à FEVH68_c4, nomeadamente menor massa volúmica, maior permeabilidade ao vapor de água e maior resiliência. Possuem ainda resistência superficial e condutibilidade térmica muito semelhantes. Contudo, em termos mecânicos, as placas FEHB8_c4_f1/2 ficam muito aquém das expectativas. Note-se que a FEVH68_c4 possui uma espessura de cerca de 31 mm e as outras têm aproximadamente 36 mm. Esta diferença, possivelmente devido à pressão imposta durante o fabrico, pode explicar alguns dos valores obtidos, nomeadamente a nível das resistências, se bem que o ácido bórico também pode ter alguma influência.

O método adotado para o fabrico de três placas em simultâneo, em laboratório, também pode ter influência na diferença de valores que se obtiveram, devido ao empenamento de algumas placas.

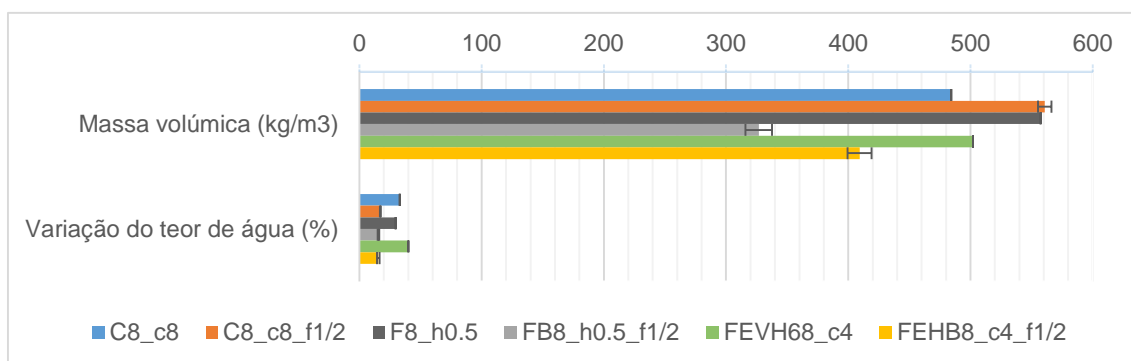


Figura 8.1 – Propriedades físicas das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial

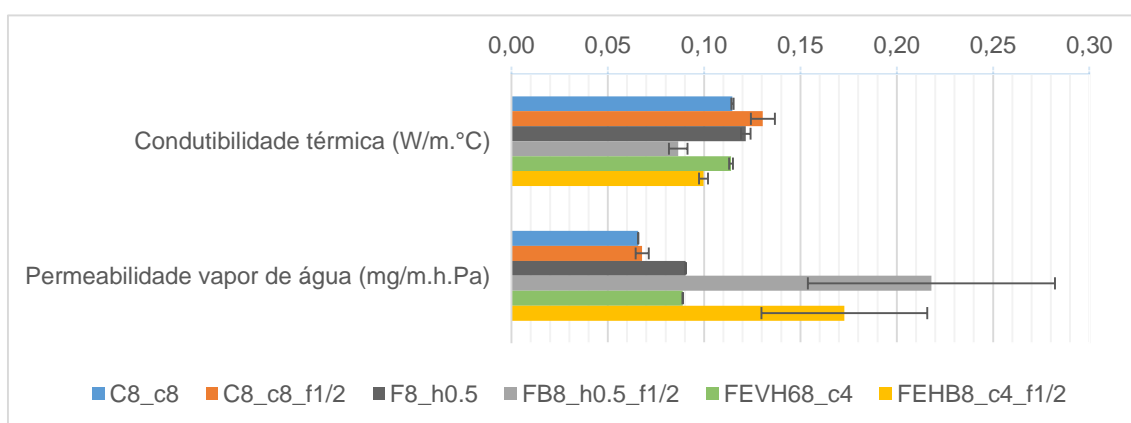


Figura 8.2 – Comportamento higrotérmico das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial

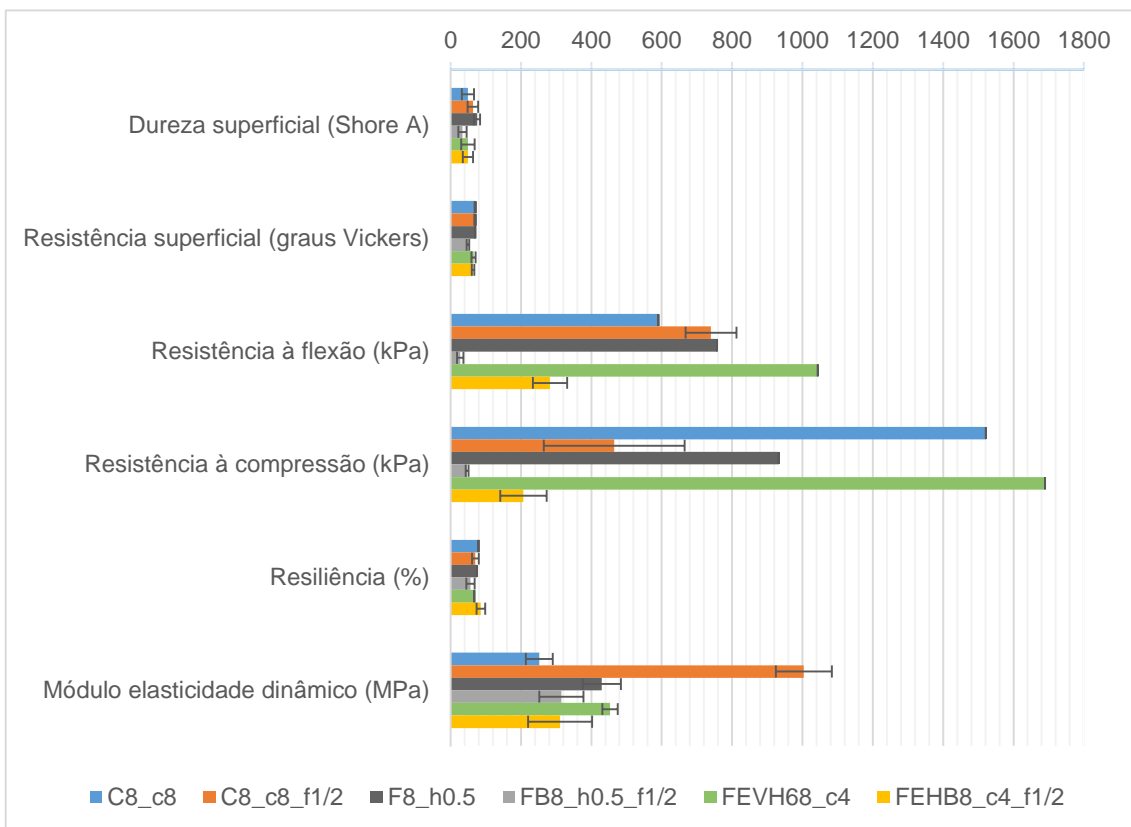


Figura 8.3 – Características mecânicas das placas com colas naturais de fabrico artesanal e laboratorial

8.2. Placas com colas naturais e com cola comercial

Não é possível fazer uma comparação direta entre as placas com carolo de milho e colas naturais artesanais e as com cola comercial, feitas em laboratório, uma vez que nas primeiras foi utilizada uma quantidade de cola igual à de carolo, enquanto nas placas com cola comercial se utilizou apenas 10% de cola em relação à quantidade de carolo, em massa, seguindo as recomendações do fabricante. No entanto, é possível tirar algumas conclusões.

Em termos do comportamento reológico, a cola de caseína possui uma viscosidade, de cerca de 390 ± 90 (mPa.s), muito inferior à da cola comercial, igual a 1500 ± 500 (mPa.s). Esta diferença é vantajosa para o trabalho em curso, pois, em termos industriais, quanto menor for a viscosidade, melhor, menor é o gasto energético necessário para misturar os ingredientes da cola e maior é a facilidade de misturar a cola e o carolo.

Contrariamente ao que ocorreu nas placas com colas naturais artesanais, as com cola comercial apresentaram uma ligeira expansão, no que toca ao volume medido após 48 h e depois de 14 dias em condições controladas.

No geral, a condutibilidade térmica pode ser considerada como muito semelhante nos dois tipos de placas, cerca de $0,1 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$.

As placas com cola comercial possuem valores referentes à variação do teor de água muito inferiores às com colas artesanais, próximos de zero.

É visível a significativa diferença entre a permeabilidade ao vapor de água das placas com colas artesanais e com cola comercial, sendo que estas últimas possuem valores superiores. Não se sabe, contudo, se tal se deve à diferença de quantidade de cola utilizada ou ao tipo de cola.

Analisando os resultados de contaminação biológica, conclui-se que as placas com cola comercial não representam, neste ponto, nenhuma vantagem em relação às com colas artesanais, visto que na primeira semana de avaliação as placas com cola comercial apresentaram um grau de desenvolvimento de fungos na superfície dos provetes superior às outras placas e no final do ensaio a contaminação era de grau semelhante.

8.3. Comparação dos melhores resultados com os de outros autores

Das placas analisadas e comparadas anteriormente, a FEVH₆8_c4 aparenta possuir melhor comportamento, nomeadamente a nível mecânico (resistência à flexão e resistência à compressão). Assim, para termos comparativos, utilizou-se esta placa como referência.

Tendo em conta os autores referidos no Capítulo 3, no Quadro 8.2 é feita a comparação de resultados, apresentando-se os valores médios. Note-se que os valores de massa volúmica e condutibilidade térmica da placa com cola natural correspondem às determinações feitas 14 dias após a permanência em condições controladas.

Quadro 8.2 – Comparação dos resultados de caracterização de placas de carolo de milho de diversos autores

Placa de isolamento	Placa com carolo de milho e cola natural	Placa com carolo de milho e cola sintética		
		Cruz (2011)	Scatolino <i>et al.</i> (2013)	Sekaluvu <i>et al.</i> (2013)
Massa volúmica (kg/m ³)	502	374	650	386 a 723
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,114	0,117	-	-
Resistência à flexão (kPa)	1043	3650	1800	320 a 1500
Resistência à compressão (kPa)	1690	4210	-	-
Módulo elasticidade (MPa)	453	-	281	5,89 a 61,82

Analisando a massa volúmica, considera-se que a obtida neste trabalho se encontra dentro da gama de valores determinados por outros autores. Segundo Cruz (2011), a massa volúmica do carolo é de $212,11 \pm 47,57$ kg/m³, enquanto para os carolos utilizados neste trabalho, considerando o carolo fragmentado como este autor considerou, obteve-se um valor de $367,23 \pm 30,56$ kg/m³. Esta diferença, provavelmente devido às diversas variedades de milho e respetivos carolos existentes no país, tem influência nos valores das massas volúmicas.

Por outro lado, Paiva *et al.* (2012) e Pinto *et al.* (2012a) também determinaram a condutibilidade térmica de placas com carolo e cola sintética, tendo obtido 0,101 e 0,139 W/(m.°C), respetivamente. Tendo em conta estes valores e os dos restantes autores, conclui-se que a placa em estudo possui um bom comportamento quando comparada com as placas já estudadas.

Quanto à resistência à flexão, o valor determinado para a placa com cola natural situa-se na gama de valores obtidos por Sekaluvu *et al.* (2013) e, tendo em conta que os valores dos outros autores são referentes a cola sintética, considera-se como uma resistência razoável.

No que toca à resistência à compressão, não é possível fazer uma comparação direta entre os valores, uma vez que neste trabalho o ensaio foi feito apenas até 10% de deformação, enquanto Cruz (2011) ensaiou os provetes até à rotura.

O valor do módulo de elasticidade dinâmico obtido para a placa com cola natural é superior aos valores do módulo de elasticidade estático obtidos pelos autores. Apesar de não poderem ser diretamente relacionados, esta diferença indica que a placa fabricada neste trabalho possui menor deformabilidade que as restantes. No entanto, ainda assim o valor é suficientemente baixo para indicar uma boa deformabilidade.

8.4. Comparação dos melhores resultados com materiais de isolamento tradicionais

De novo, para termos comparativos, utilizou-se a placa com cola natural que obteve melhores resultados, a placa de FEVH₆8_c4.

Placas para a construção com base em carolo de milho

Tendo em conta os materiais de isolamento térmico e/ou acústico tradicionalmente utilizados na construção civil, no Quadro 8.3 é feita uma comparação destes materiais com a placa desenvolvida neste trabalho, de modo a estudar o potencial desta.

Quadro 8.3 – Comparação dos resultados da placa de carolo com materiais de isolamento tradicionais

Placas de isolamento	Placa com carolo de milho e cola natural	Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	Poliestireno extrudido (XPS)	Poliestireno expandido (EPS)	Lã de rocha
Espessura (mm)	31	10 a 300	30 e 40	20 a 100	30 a 100
Massa volúmica (kg/m ³)	502	110 a 120	30	20	145
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,114	0,037 a 0,040	0,035	0,036	0,038
Permeabilidade vapor de água (mg/m.h.Pa)	0,09	0,015 a 0,045	0,004 a 0,009	0,009 a 0,020	0,400
Resistência à flexão (kPa)	1043	≥ 130	-	150	-
Resistência à compressão a 10% (kPa)	1690	≥ 110	200	100	≥ 45
Ficha técnica	-	Sofalca	Wallmate / Floormate - Dow	CIN	CIN

A espessura da placa em estudo corresponde às espessuras normalmente utilizadas nos materiais de isolamento.

Comparativamente com os outros materiais, a placa com carolo de milho e cola natural apresenta uma massa volúmica e uma condutibilidade térmica superiores. No entanto, tendo em conta que este produto pode ser ainda otimizado e, por isso, não está industrializado, ainda há muitos aspetos a melhorar e modificar e estas duas características podem ainda baixar, por exemplo, através da redução da quantidade de cola.

Quanto à permeabilidade ao vapor de água, a placa com carolo e cola natural possui um bom comportamento quando comparada com os outros materiais, sendo muito superior ao XPS e ao EPS. Esta é uma grande vantagem perante os isolamentos normalmente utilizados, tendo em conta que a dissipação do vapor de água do interior dos edifícios é essencial.

Outra grande vantagem é a elevada resistência, à flexão e à compressão a 10% de deformação, que a placa com carolo de milho possui. Isto quer dizer que esta placa suporta mais forças por metro quadrado que as restantes, o que é um grande benefício quando aplicada, por exemplo, em pavimentos, como camada de reforço de isolamento acústico, para além do térmico.

Quanto ao impacto ambiental, estas placas feitas com carolo e cola natural são mais ecológicas comparativamente com os materiais de isolamento frequentemente aplicados no panorama da indústria da construção portuguesa, tendo em conta que o carolo de milho é um resíduo agrícola e a cola é natural. Em termos ecológicos, só pode ser comparável com as placas de aglomerado de cortiça, que também utilizam um subproduto da indústria das rolhas e são produzidas a temperaturas relativamente baixas (Brás *et al.*, 2013).

A placa em estudo possui a desvantagem de possuir uma elevada suscetibilidade biológica. Contudo, esta placa com carolo de milho e cola natural ainda está em desenvolvimento, pelo que se considera que, com a utilização de um fungicida em quantidades adequadas, esse problema pode vir a ser minimizado.

8.5. Síntese

Pelos resultados que se obtiveram neste trabalho, conclui-se que as placas com carolo de milho e colas naturais artesanais aparentam ter um potencial considerável como material de isolamento térmico e acústico, havendo ainda muitos aspetos a melhorar e caracterização complementar a efetuar. No que toca ao comportamento acústico, não foram realizados ensaios específicos nesse sentido; contudo, tendo em conta os estudos de outros autores e a caracterização preliminar efetuada neste trabalho, é promissora a capacidade de isolamento acústico deste material. Assim, considera-se que esta placa pode ser usada como isolamento em revestimento de paredes sem contacto com água, tetos ou pavimentos ou até mesmo para a conceção de paredes divisórias ou tetos falsos.

Devido à suscetibilidade biológica e à sensibilidade à água, esta placa deve ser aplicada em locais secos, onde não ocorram lavagens, águas correntes ou elevadas quantidades de vapor de água, embora indície manter a integridade mesmo em ambientes muito húmidos.

9. CONCLUSÃO

9.1. Conclusões finais

A presente dissertação iniciou-se com uma abordagem das colas naturais existentes e de colas usualmente utilizadas e do carolo de milho e respetivas aplicações na indústria da construção, bem como de placas produzidas com carolo e colas sintéticas.

A campanha experimental permitiu avaliar as características de placas com carolo e colas naturais, feitas de forma artesanal e com fabrico também artesanal e com fabrico laboratorial, e de placas com uma cola comercial utilizada para o fabrico de rolhas de cortiça. Os vários ensaios foram realizados maioritariamente com base em normas aplicadas a isolamentos térmicos, pelo facto de se estudar a viabilidade das placas para se aplicarem também como tal.

Finalizadas as diferentes etapas deste estudo, considera-se que os objetivos de contribuir para um maior conhecimento das características de placas produzidas com carolo de milho e colas naturais foram cumpridos.

As placas que obtiveram melhores resultados, para cada tipo de cola, foram: C8_c8 (com caseína, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a frio durante 8 h), F8_h0.5 (com farinha de trigo, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a quente durante 0,5 h) e FEVH8_c4 (com farinha de trigo, clara de ovo, vinagre e 6 g de hidróxido de sódio, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a frio durante 4 h).

As placas que obtiveram melhores resultados na primeira fase foram aproximadamente replicadas, adicionando-se alguns constituintes ou elementos que se pensou poderem melhorá-las: C8_c8_f1/2 (com caseína, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a frio durante 8 h, rede de fibra a metade da espessura), FB8_h0.5_f1/2 (com farinha de trigo e ácido bórico, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a quente durante 0,5 h, rede de fibra a metade da espessura) e FEHB8_c4_f1/2 (com farinha de trigo, clara de ovo, hidróxido de sódio e ácido bórico, granulometria retida no peneiro nº 8, prensagem a frio durante 4 h, rede de fibra a metade da espessura). Quanto aos ensaios realizados, é possível concluir que estas placas obtiveram, no geral, valores inferiores aos da fase anterior, indicando a forte influência do processo de prensagem no fabrico ou da presença do ácido bórico, que funciona como fungicida mas que pode ter outras influências. Conclui-se ainda que o fabrico de um molde adequado e que desempenhe as suas funções corretamente durante todo o processo de produção das placas é essencial, uma vez que se considera que pode ter influência significativa nos resultados finais dos ensaios.

Quanto às placas de carolo com cola comercial e fabrico laboratorial, conclui-se que, pelos resultados obtidos, as colas feitas de forma artesanal possuem aparentemente melhores características, se bem que mais tipos de placas e respetivos ensaios seriam necessários para poder afirmar com clareza este facto.

Tendo em conta as diversas placas produzidas e os respetivos resultados de ensaio, é visível e notável que o tipo de cola, a pressão e o tempo de prensagem, as características dos moldes e o tempo e condições de secagem são fatores de extrema importância e que influenciam fortemente o produto final.

Após o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, onde foram sujeitas a uma humidade relativa de cerca de 100%, as placas mantiveram-se íntegras, o que indica um bom comportamento mesmo em ambientes muito húmidos.

Tendo em conta os resultados obtidos nos ensaios de contaminação biológica, conclui-se que a quantidade de ácido bórico utilizado nas placas com cola natural e fabrico laboratorial, 0,5% do peso total da placa, foi talvez insuficiente para o efeito, pois o desenvolvimento de fungos na superfície dos provetes foi muito elevado. Considera-se, por isso, necessário otimizar a utilização deste antifúngico. Por outro lado, por também ser necessário a otimização do pré-tratamento de desinfeção, através da esterilização do carolo com calor húmido, isto é, com vapor de água sob pressão e temperatura elevada (autoclavagem), antes da sua utilização no fabrico das placas.

Analizadas as vantagens e benefícios (bem como os inconvenientes relacionados principalmente com a suscetibilidade biológica) que este tipo de placas apresenta, considera-se e espera-se que a presente dissertação contribua para o desenvolvimento deste tipo de produtos e que seja apenas o início de um longo processo de aperfeiçoamento do material.

Pelas características determinadas, estas placas de carolo de milho e cola natural possuem um elevado potencial para aplicação como camada de isolamento térmico (e acústico), quer em paredes, tetos ou pavimentos.

Este tipo de placas, para além dos benefícios já referidos, pode apresentar alguns benefícios económicos devido ao facto do carolo ser um resíduo e dos ingredientes das colas serem baratos, podendo eventualmente alguns serem também resultantes de resíduos ou subprodutos.

O presente estudo, ao apresentar este tipo de isolamento, pode servir para uma maior consciencialização dos indivíduos para a importância da sustentabilidade na construção, para um aumento do interesse e desenvolvimento deste tipo de placas, propiciando, desta forma, o aparecimento de novas empresas ou o investimento de pequenas e médias empresas nesta área de produção de materiais de isolamento.

9.2. Propostas de trabalhos futuros

De forma a dar continuidade ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, sugerem-se alguns trabalhos futuros para que seja possível confirmar alguns resultados obtidos, se possam realizar novos estudos para complementar a caracterização efetuada e se possa otimizar e aferir, de forma mais aprofundada, a viabilidade do material em estudo.

Propõe-se a otimização de um antifúngico, de um pré-tratamento de desinfeção do carolo e do processo de corte das placas, a normalização do processo de fabrico destas, a pesquisa da viabilidade da utilização de resíduos ou subprodutos das indústrias como constituintes das colas e a experimentação de misturas de diversas frações de carolo de milho.

Sugere-se também a realização de outros ensaios para caracterização complementar das placas, nomeadamente ensaios de resistência ao fogo, resistência à ação da água, comportamento sob cargas cíclicas, índice de isolamento sonoro a sons de percussão, resistência ao escoamento do ar e análise do ciclo de vida.

BIBLIOGRAFIA

- Abe, I. (1987) – *Wood adhesives from natural polyphenols*, Mokuzai Kyogo, 42(481), 151–156.
- Adesanya, D. A. (1996) – *Evaluation of blended cement mortar concrete and stabilized earth made from ordinary Portland cement and corn cob ash*, Construct Build Mater, 10(6), 451-6.
- Adesanya, D. A. (2000) – *The characteristics of laterite bricks and blocks stabilized with corn-cob fillers*, The Professional Builder, 47-55.
- Adesanya, D. A. (2001) – *The effects of thermal conductivity and chemical attack on corn cob ash blended cement*, The Professional Builder, 3-10.
- Adesanya, D. A.; Raheem, A. A. (2009) – *Development of corn cob ash blended cement*, Construction and Building Materials, 23(1), 347-352.
- Amaral-Labat, G.; Pizzi, A.; Gonçalves, A.; Celzard, A.; Rigolet, S.; Rocha, G. (2008) - *Environment-friendly soy flour-based resins without formaldehyde*, Journal of Applied Polymer Science, 108 (1), 624-632.
- ANPROMIS (2014) – *Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo* [on-line], disponível: <http://www.anpromis.pt/>.
- Asdrubali, F. (2007) – *Green and sustainable materials for noise control in buildings*, In: 19th International congress on acoustics, 2-7 Setembro, Madrid, Espanha.
- Ashley, R.J.; Cochran, M.A.; Allen, K.W. (1995) – *Adhesives in packaging*, Int. J. Adhes. Adhes., 15(2), 101-108
- ASTM (2000) – ASTM D 5590-00:2000 - *Determining the resistance of paint films and related coatings to fungal defacement by accelerated four-week agar plate assay*, USA.
- ASTM (2010) – ASTM D 2240-05:2010 - *Standard test method for rubber property - Durometer hardness*, USA.
- Azambuja, MdA; Dias, A.A. (2006) – *Use of castor oil-based polyurethane adhesive in the production of glued laminated timber beams*, Materials Research, 9(3), 287–291.
- Bertaud, F.; Tapin-Lingua, S.; Pizzi, A.; Navarrete, P.; Petit-Conil, M. (2012) – *Development of green adhesives for fibreboards manufacturing, using tannins and lignin from pulp mill residues*, Cellulose Chemistry and Technology, 46(7-8), 449-455.
- Brás, A.; Leal, M.; Faria, P. (2013) – *Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance*, Construction and Building Materials, 49, 315-327.
- Carvalho, J.; Pinto, T.; Varum, H.; Jesus, A.; Lousada, J.; Morais, J. (2008) – *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro*, in: H. Varum, F. Carvalho, A. Costa, A. Bertini, P. Stepánek (Eds.), Proceedings of the 4th International Conference on Structural Defects and Repair, CINPAR 2008, Aveiro, Portugal.
- CEN (1998) – EN 1015-1:1998 - *Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*, Brussels.
- CEN (2013a) – EN 1602:2013 - *Thermal insulating products for building applications. Determination of the apparent density*, Brussels.

- CEN (2013b) – EN 12089:2013 - *Thermal insulating products for building applications. Determination of bending behaviour*, Brussels.
- CEN (2013c) – EN 826:2013 - *Thermal insulating products for building applications. Determination of compression behaviour*, Brussels.
- CEN (2013d) – EN 12086:2013 - *Thermal insulating products for building applications. Determination of water vapour transmission properties*, Brussels.
- CEN (2008) – EN 1094-1:2008 - *Insulating refractory products. Part 1: Terminology, classification and methods of test for high temperature insulation wool products*, Brussels.
- Chen, Y.; Dong, B.; Qin, W. and Xiao, D. (2010) – *Xylose and cellulose fractionation from corncob with three different strategies and separate fermentation of them to bioethanol*, Bioresource Technol., 101(18), 7005-7010.
- Cherchiari, A. (2013) – *Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de Cupressus lusitanica, Corymbia maculata e Hevea brasiliensis*, Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 105 p.
- Chow, P. (1974) – *Dry Formed Composite Board from Selected Agricultural Residues*, World Consultation on Wood Based Panels, Food and Agriculture Organization of the United Nations, New Delhi, India.
- Cruz, D. (2011) – *Desenvolvimento de um material de isolamento térmico e acústico à base de caroços da espiga de milho*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UTAD, Vila Real.
- D'Amico, S.; Hrabalova, M.; Muller, U.; Berghofer, E. (2010) – *Bonding of spruce wood with wheat flour glue — Effect of press temperature on the adhesive bond strength*, Industrial Crops And Products, 31(2), 255-260.
- D'Amico, S; Müller, U.; Berghofer, E. (2013) – *Effect of Hydrolysis and Denaturation of Wheat Gluten on Adhesive*, Journal of Applied Polymer Science, 129(5), 2429-2434.
- Day, L.; Batey, I.L.; Wrigley, C.W.; Augustin, M.A. (2006) – *What gluten Uses and Industry Needs*, Trends in Food Science and Technology, 17(2), 82-90.
- Ding, G. (2004) – *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities*, PhD thesis, Sydney: University of Technology.
- El Mansouri, N. E.; Pizzi, A.; Salvado, J. (2007) – *Lignin-based wood panel adhesives without formaldehyde*, Holz Als Roh-und Werkstoff, 65(1), 65-70.
- Entwistle, G.; Bachelor, S.; Booth, E.; Walker, K. (1998) – *Economics of starch production in the UK*, Ind. Crop. Prod, 7(2-3), 175-186.
- FAO (2014) – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [on-line], disponível: <http://www.fao.org/>.
- FAOSTAT (2014) – *The Statistics of the FAO* [on-line], disponível: <http://faostat.fao.org/>.

- Faustino, J.; Pereira, L.; Soares, S.; Cruz, D.; Paiva, A.; Varum, H.; Ferreira, J.; Pinto, J. (2012)- *Impact sound insulation technique using corn cob particleboard*, *Construction and Building Materials*, 37, 153-159.
- Feldman, D. (2002) – *Lignin and its polyblends: a review*, In: Hu TQ (ed) *Chemical Modification, Properties and Usage of Lignin*, Kluwer Academics/Plenum Publishers, New York.
- Gentz, M. C.; Grace, J. K. (2006) – *A review of boron toxicity in insects with an emphasis on termites*, *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 23(4), 201-207.
- Gil, L. (2007) – *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*, APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 66p.
- Guerrero, M.S.; Torres, J.S.; Nunez, M.J. (2008) – *Extraction of polyphenols from white distilled grape pomace: optimization and modelling*, *Bioresour. Technol.*, 99, 1311-1318.
- Guigo, N.; Mija, A.; Vincent, L.; Sbirrazzuoli, N. (2010) – *Eco-friendly composite resins based on renewable biomass resources: Polyfurfuryl alcohol/lignin thermosets*, *European Polymer Journal*, 46(5), 1016-1023.
- Hemmila, V.; Trischler, J.; Sandberg, D. (2013) – *Bio-based adhesives for the wood industry – An opportunity for the future?*, *Pro Ligno*, 9(4), 118-125.
- Huang, W.; Sun, X. (2000) – *Adhesive properties of soy proteins modified by urea and guanidine hydroxide*, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 101-104.
- Huang, J.; Li, K. (2008) – *A new soy flour-based adhesive for making interior type II plywood*, *J Am Oil Chem Soc*, 85, 63-70.
- Igathinathane, C.; Tumuluru, J. S.; Sokhansanj, S.; Bi, X.; Lim, C. J.; Melin, S.; Mohammad, E. (2010) – *Simple and inexpensive method of wood pellets macro-porosity measurement*, *Bioresource Technol.*, 101(16), 6528-6537.
- Imam, S.H.; Mao, L.; Chen, L.; Greene, R.V. (1999) – *Wood adhesive from crosslinked poly(vinyl alcohol) and partially gelatinized starch: preparation and properties*, *Starch/Stärke*, 51(6), 225-229.
- IPQ (1973) – NP 614:1973 - *Madeiras. Determinação do teor em água*, Caparica.
- IPQ (2002) – NP EN 1097-3:2002 - *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*, Caparica.
- IPQ (2006) – NP EN 14146:2006 - *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)*, Caparica.
- IPQ (2007) – NP EN 12504-4:2007 - *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons*, Caparica.
- IPQ (2010) – NP EN 13986:2010 – *Placas de derivados de madeira para utilização na construção. Características, avaliação da conformidade e marcação*, Caparica.
- Jang, Y.; Huang, J.; Li, K. (2011) – *A new formaldehyde-free wood adhesive from renewable materials*, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(7), 754-759.

- Jorge, F. C.; Neto, C. P.; Irle, M. A.; Gil, M. H.; de Jesus, J. P. (2002) - *Wood adhesives derived from alkaline extracts of maritime Pine bark: preparation, physical characteristics and bonding efficacy*, Holz als Roh- und Werkstoff, 60(4), 303-310.
- Keith, I.H.; Telliard, W.I. (1979) – *Priority pollutants*, Environ. Sci. Technol., 13, 416–23.
- Khedari, J.; Nankongnab, N.; Fotios, S. (2008) – *Agricultural waste materials as thermal insulation for dwellings in Thailand: preliminary results*, In: PLEA 2008: 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 22–24 October, Dublin, Ireland.
- Khosravi, S.; Khabbaz, F.; Nordqvist, P.; Johansson, M. (2010) – *Protein-based adhesives for particleboards*, Industrial Crops and Products, 32(3), 275-283.
- Kim, S. (2009) – *Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission*, Bioresource Technology, 100(2), 744-748.
- Konnerth, J.; Gindl, W.; Harm, M.; Muller, U. (2006) – *Comparing dry bond strength of spruce and beech woodglued with different adhesives by means of scarf- and lap joint testing method*, Holz Roh Werkst, 64, 269-271.
- Laufenberg, G.; Kunz, B.; Nystoem, M. (2003) – *Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations*, Bioresour. Technol., 87, 167-198.
- Lei, H.; Pizzi, A.; Navarrete, P.; Rigolet, S.; Redl, A.; Wagner, A. (2010) - *Gluten Protein Adhesives for Wood Panels*, Journal of Adhesion Science and Technology, 24(8), 1583-1596.
- Lei, H.; Pizzi, A.; Du, G.B. (2008) – *Environmentally friendly mixed tannin/lignin wood resins*, J. Appl. Polym. Sci., 107(1), 203–209.
- Leible, L. (1996) – *Technology assessment on renewable raw materials: potentials and risks of the use of starches*, Starch-Starke, 48(4), 121-130.
- Lertsutthiwong, P.; Khunthon, S.; Siralertmukul, K.; Noomun, K.; Chandkrachang, S. (2008) – *New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel*, Bioresource Technology, 99, 4841-4845.
- Lewis, N.G.; Lantzy, T.R. (1989) – *Lignin in adhesives. Introduction and historical perspective*, ACS Sym Ser, 397, 13–26.
- Li, K.; Geng, X.; Simonsen, J.; Karchesy, J. (2004) – *Novel wood adhesives from condensed tannins and polyethylenimine*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 24(4), 327–333.
- Li, K.; Peshkova, S.; Geng, X. (2004) – *Investigation of soy protein-Kymene adhesive systems for wood composites*, J Am Oil Chem Soc, 81, 487-49.
- Liu, Y.; Li, K. (2002) – *Chemical modification of soy protein for wood adhesives*, Macromol Rapid Commun, 23, 739-742.
- Liu, Y.; Li, K. (2004) – *Modification of soy protein for wood adhesives using mussel protein as a model: the influence of a mercapto group*, Macromol Rapid Commun, 25, 1835-1838.
- Liu, Y.; Li, K. (2006) – *Development and characterization of adhesives from soy protein for bonding wood*, Int J Adhes Adhes, 27, 59-67.

- Madison, W. (1967), *Casein glues: their manufacture, preparation, and application*, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Mahapatra, S.S.; Karak, N. (2004) – *Synthesis and characterization of polyesteramide resins from Nahar seed oil for surface coating applications*, Prog Org Coat, 51, 103–108.
- Mamman, A. S.; Lee, J.-M.; Kim, Y.-C.; Hwang, I. T.; Park, N.-J.; Hwang, Y. K.; Chang, J.-S.; Hwang, J.-S. (2008) – *Review: Furfural: Hemicellulose/xylose-derived biochemical*, Biofuels, Bioproducts & Biorefining, 2(5), 438-454.
- Martinho, J.; Gonçalves, C.; Magalhães, F.; Lousada, J.; Vieira, J.; Varum, H.; Tavares, P.; Pinto, J. (2009) – *Construção de tabique no Vale do Douro Sul*, in: Proceedings of the VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra (VIII SIACOT), Tucumán, Argentina, CRIATIA: FAU, UNT, 514-521.
- Monrad, J.K.; Howard, L.R.; King, J.W.; Srinivas, K.; Mauromoustakos, A. (2010) – *Subcritical solvent extraction of procyanidins from dried red grape pomace*, J. Agric. Food Chem., 58(7), 4014–4021.
- Mothé, C.G.; Araújo, C.R. (2000) – *Properties of polyurethane elastomers and composites by thermal analysis*, Thermochim. Acta, 357-358(14), 321-325.
- Moubarik, A.; Allal, A.; Pizzi, A.; Charrier, F.; Charrier, B. (2010) – *Preparation and mechanical characterization of particleboard made from maritime pine and glued with bio-adhesives based on cornstarch and tannins*, Maderas: Ciencia y Tecnología, 12(3), 189-197.
- Myers, G. E. (1986) – *Resin hydrolysis and mechanism of formaldehyde release from bonded wood products*, In: Wood adhesives in 1985: status and needs, Madison, WI, Forest products Research Society, 77–80.
- National Cancer Institute (2004) – *Formaldehyde and Cancer: Questions and Answers*, FactSheet, Bethesda, MD, 6 p.
- Nimz, H. (1983) – *Lignin-based Adhesives*, In: Pizzi A (ed) Wood Adhesives: Chemistry and Technology, Vol. 1, Marcel Dekker Inc., New York.
- Nordqvist, P.; Khabbaz, F.; Malmstrom, E. (2010) – *Comparing bond strength and water resistance of alkali-modified soy protein isolate and wheat gluten adhesives*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 30(2), 72-79.
- Northup, R. R.; Dahlgren, R. A.; McColl, J. G. (1998) – *Polyphenols as regulators of plant-litter-soil interactions in northern California's pygmy forest: a positive feedback?*, Biogeochem, 42(1–2), 189–220.
- Packham, D. E. (2009) – *Adhesive technology and sustainability*, International Journal Of Adhesion And Adhesives, 29(3), 248-252.
- Paiva, A.; Pereira, S.; Sá, A.; Cruz, D.; Varum, H.; Pinto, J. (2012) - *A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards*, Energy and Buildings, 45, 274-279.
- Panthapulakkal, S.; Sain, M. (2007) – *Agro-residue reinforced high-density polyethylene composites: Fiber characterization and analysis of composite properties*, Composites Part A, 38(6), 1445-1454.

- Pecina, H.; Kuchne, G. (1995) – *Lignin-phenol binder based on organocell spent liquor for wood products*, Annals of Warsaw Agricultural University. For Wood Technol, 46, 93–100.
- Pichelin, F.; Nakatani, M.; Pizzi, A.; Wieland, S.; Despres, A.; Rigolet, S. (2006) – *Structural beams from thick wood panels bonded industrially with formaldehyde-free tannin adhesives*, Forest Prod. J., 56(5), 31–36.
- Pinelo, M.; Rubilar Jerez, M.; Sineiro, J.; Nunez, M.J. (2005) – *Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace*, J. Agric. Food Chem., 53, 2111–2117.
- Ping, L.; Pizzi, A.; Guo, Z.; Brosse, N. (2011) - *Condensed tannins extraction from grape pomace: Characterization and utilization as wood adhesives for wood particleboard*, Industrial Crops and Products, 34 (1), 907-914.
- Ping, L.; Pizzi, A.; Guo, Z.; Brosse, N. (2012) - *Condensed tannins from grape pomace: Characterization by FTIR and MALDI TOF and production of environment friendly wood adhesive*, Industrial Crops and Products, 40, 13-20.
- Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares, P.; Lousada, J.; Silva, P.; Vieira, J. (2009) – *Tabique construction characterization in Douro north valley, Portugal: a first step to preserve this architectural heritage*, in: M. Jha, C. Long, N. Mastorakis, C.A. Bulucea (Eds.), Proceedings of the 2nd WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09), Environmental Science and Sustainability, Baltimore, USA, WSEAS Press, 48-53.
- Pinto, J.; Paiva, A.; Varum, H.; Costa, A.; Cruz, D.; Pereira, S.; Fernandes, L.; Tavares, P.; Agarwal, J. (2011) – *Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material*, Energy and Buildings, 43(8), 1985-1990.
- Pinto, J.; Cruz, D.; Paiva, A.; Pereira, S.; Tavares, P.; Fernandes, L.; Varum, H. (2012a) – *Characterization of corn cob as a possible raw building material*, Construction and Building Materials, 34, 28-33.
- Pinto, J.; Pereira, H.; Vilela, P.; Jacinto, C.; Vieira, B.; Paiva, A.; Pereira, S.; Ferreira, J.; Cunha, V. M.; Varum, H. (2012b) – *Camada de regularização com agregado de granulado de caroço da espiga de milho*, In 4º Congresso Português de Argamassas de Construção - Sob a égide da inovação, Coimbra.
- Pinto, J.; Vieira, B.; Pereira, H.; Jacinto, C.; Vilela, P.; Paiva, A.; Pereira, S.; Cunha, V. M.; Varum, H. (2012c) - *Corn cob lightweight concrete for non-structural applications*, Construction and Building Materials, 34, 346-351.
- Pizzi, A. (2003) – *Natural Phenolic Adhesives I: Tannin*, Handbook of Adhesive Technology, 2nd ed. (revised and expanded), 573–587.
- Pizzi, A. (2006) – *Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues*, Journal of Adhesion Science and Technology, 20(8), 829-846.
- Rivero, G.; Fasce, L.; Ceré, S.; Manfredi, L. (2014) – *Furan resins as replacement of phenolic protective coatings: Structural, mechanical and functional characterization*, Progress in Organic Coatings, 77(1), 247–256.

- Rivero, G.; Pettarin, V.; Vázquez, A.; Manfredi, L. B. (2011) – *Curing kinetics of a furan coland its nanocomposites*, *Thermochimica Acta*, 516, 79–87.
- Roffael, E.; Dix, B. (1991) – *Lignin and lignin sulphonates in non-conventional bonding – An overview*, *Holz Roh-Werkst*, 49, 199–205.
- Ruberto, G.; Renda, A.; Daquino, C.; Amico, V.; Spatafora, C.; Tringali, C.; De Tommasi, N. (2007) – *Polyphenol constituents and antioxidant activity of grape pomace extracts from five Sicilian red grape cultivars*, *Food Chem.*, 100, 203-210.
- Santos, C.; Matias, L. (2006) – *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, Lisboa: LNEC.
- Scatolino, M. V.; Silva, D. W.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. (2013) – *Use of maize cob for production of particleboard*, *Ciência e Agrotecnologia*, 37(4), 330-337.
- Sekaluvu, L.; Tumutegereize, P.; Kiggundu, N. (2013) – *Investigation of factors affecting the production and properties of maize cob-particleboards*, *Waste and Biomassa Valorization*, 5(1), 27-32.
- Shiraishi, N. (1989) – *Recent progress in wood dissolution and adhesives from kraft lignin*. *ACS Sym Ser*, 397, 488–495.
- Spigno, G.; De Faveri, D.M. (2007) – *Antioxidants from grape stalks and marc: influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts*, *J. Food Eng.*, 78, 793-801.
- Stone, N. (2003) – *Thermal performance of straw bale wall systems*, *Ecological Building Network (EBNet)*, 1–7.
- Thevenon, M-F.; Tondi, G.; Pizzi, A. (2010) – *Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin resin-boric acid for outdoor applications*, *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 12(3), 253-257.
- Tondi, G.; Pizzi, A. (2009) – *Tannin-based rigid foams: characterization and modification*, *Ind. Crops Prod*, 29(2–3), 356–363.
- Trevino, A. S.; Trumbo, D. L. (2002) – *Acetoacetylated castor oil in coatings applications*, *Progress in Organic Coatings*, 44, 49-54.
- Vatai, T.; Skerget, M.; Knez, Z. (2009) – *Extraction of phenolic compounds from elder berry and different grape marc varieties using organic solvents and/or supercritical carbon dioxide*, *J. Food Eng.*, 90(2), 246–254.
- Wechsler, A.; Zaharia, M.; Crosky, A.; Jones, H.; Ramirez, M.; Ballerini, A.; Nunez, M.; Sahajwalla, V. (2013) – *Macadamia (Macadamia integrifolia) shell and castor (Ricinus communis) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard*, *Materials and Design*, 50, 117-123.
- Wieser, H. (2007) – *Chemistry of gluten proteins*, *Food Microbiology*, 24(2), 115-119.
- World Commission on Environment and Development (1987) – *Our Common Future*, Brundtland report

- Xie, HQ; Guo, JS (2002) – *Room temperature synthesis and mechanical properties of two kinds of elastomeric interpenetrating polymer networks based on castor oil*, Eur Polym J, 38, 2271-2277.
- Yazaki, Y.; Collins, P. (1994) – *Wood adhesives based on tannin extracts from barks of some pine and spruce species*, Holz als Roh-und Werkstoff, 52(5), 307-310.
- Younquist, J.; English, B.; Spelter, H.; Chow, P. (1933) – *Agricultural fibers in composition panels*, In: Proceedings of the 27th International Particleboard/Composite Materials Symposium, 30–31 March, Pullman, Washington, 133–152.
- Zhang, Y.; Ghaly, A. E.; Li, B. (2012) – *Physical properties of corn residues*, American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 8(2), 44-53.
- Zhong, Z.; Sun, X. S.; Fang, X.; Ratto, J. A. (2002) – *Adhesive strength of guanidine hydrochloride-modified soy protein for fiber board application*, Int. J. Adhes. Adhes., 22, 267-272.

ANEXOS

Placas para a construção com base em carolo de milho

A – Resultados individuais obtidos na caracterização do carolo e do granulado

Moagem ótima

Nº peneiro	Abertura da malha (mm)	Quantidade retida (g)						% média retida no peneiro	Quantidade retida (g)						% média retida no peneiro	Quantidade retida (g)						% média retida no peneiro
		1ª amostra		2ª amostra		3ª amostra			1ª amostra		2ª amostra		3ª amostra			1ª amostra		2ª amostra		3ª amostra		
3/4"	19,1	3,600	3%	6,595	7%	0,928	1%	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	12,7	30,073	28%	20,642	21%	25,384	23%	24	11,531	8%	9,239	7%	4,929	4%	6	1,911	2%	2,182	2%	3,769	3%	2
3/8"	9,52	19,716	19%	22,497	23%	23,495	21%	21	19,019	13%	20,358	15%	18,956	15%	14	10,734	9%	10,743	8%	10,206	8%	9
nº 4	4,76	29,933	28%	28,557	29%	37,076	33%	30	59,881	41%	51,780	38%	47,043	38%	39	52,743	44%	53,752	41%	51,907	43%	43
nº 8	2,38	16,021	15%	15,113	15%	16,022	14%	15	36,922	26%	35,565	26%	35,290	28%	27	40,221	34%	45,272	35%	38,917	32%	34
nº 16	1,19	4,927	5%	4,523	5%	5,978	5%	5	12,415	9%	13,486	10%	14,251	11%	10	10,015	8%	13,730	11%	11,869	10%	10
nº 30	0,595	1,083	1%	1,330	1%	1,753	2%	1	2,950	2%	3,273	2%	3,262	3%	2	2,380	2%	3,066	2%	2,845	2%	2
nº 50	0,297	0,261	0%	0,398	0%	0,643	1%	0	0,937	1%	0,861	1%	0,815	1%	1	0,809	1%	0,861	1%	0,763	1%	1
nº 100	0,149	0,110	0%	0,123	0%	0,171	0%	0	0,361	0%	0,307	0%	0,277	0%	0	0,274	0%	0,320	0%	0,297	0%	0
nº 200	0,075	0,048	0%	0,071	0%	0,120	0%	0	0,140	0%	0,142	0%	0,138	0%	0	0,126	0%	0,194	0%	0,158	0%	0
Refugo		0,112	0%	0,083	0%	0,102	0%	0	0,302	0%	0,180	0%	0,163	0%	0	0,178	0%	0,156	0%	0,211	0%	0
	TOTAL	105,884	100%	99,932	100%	111,672	100%	100	144,458	100%	135,191	100%	125,124	100%	100	119,391	100%	130,276	100%	120,942	100%	100
	DIF. PESO	0,520		0,878		0,681			0,514		0,584		1,190			1,062		0,795		0,703		

Teor de água das passagens no moinho

Nº de passagens	Massa inicial/massa húmida (g)	Massa seca (g)	Teor de água (%)
1	36,148	30,928	16,9
2	35,821	30,220	18,5
3	34,686	29,559	17,3

Massa volúmica do carolo inteiro e do carolo fragmentado

CAROLO INTEIRO			
Amostra de carolo	Massa seca (kg)	Volume (m3)	Massa volúmica (kg/m3)
1	0,0318	0,000062	511,70
2	0,0256	0,000067	379,27
3	0,0280	0,000074	379,44
4	0,0301	0,000070	429,33
5	0,0316	0,000073	434,84
6	0,0276	0,000083	332,66
7	0,0297	0,000081	368,86
8	0,0265	0,000073	361,27
9	0,0370	0,000097	379,78
10	0,0248	0,000066	377,21

CAROLO FRAGMENTADO			
Amostra de carolo	Massa seca (kg)	Volume (m3)	Massa volúmica (kg/m3)
1	0,0112	0,000035	318,77
2	0,0066	0,000020	329,95
3	0,0085	0,000025	339,32
4	0,0084	0,000025	335,36
5	0,0102	0,000025	406,96
6	0,0078	0,000020	387,75
7	0,0101	0,000025	403,92
8	0,0083	0,000020	416,50
9	0,0110	0,000030	365,40
10	0,0111	0,000030	369,20

Baridade das frações

Nº peneiro	Dimensão das partículas (mm)	Massa seca fracção retida (kg)			Volume recipiente (m3)	Média (kg/m³)	dp
		1ª amostra	2ª amostra	3ª amostra			
nº 16 a nº 200	0 - 2,38	0,1231	0,1271	0,1270	0,0010	126	2,28
nº 8	2,38 - 4,76	0,1483	0,1399	0,1395	0,0010	143	4,97
nº 4	4,76 - 9,52	0,1702	0,1754	0,1708	0,0010	172	2,84
3/8"	9,52 - 12,7	0,1741	0,1756	0,1719	0,0010	174	1,86
1/2"	12,7 - 19,1	0,1606	0,1633	0,1645	0,0010	163	2,00
3/4"	19,1 - 25,4	0,1086	0,1126	0,1082	0,0008	146	3,24

Baridade das misturas “industriais”

Mistura	Nº do peneiro	% retida no peneiro (2P)	% na mistura	Massa fração (kg)	Massa mistura (kg)			Volume recipiente (m³)	Média (kg/m³)	dp
					1ª amostra	2ª amostra	3ª amostra			
1/2" + 3/8" + nº 4	1/2"	6,3	10,45	0,0209	0,1884	0,1893	0,1916	0,001	189,77	1,65
	3/8"	14,5	24,17	0,0483						
	nº 4	39,1	65,38	0,1308						
nº 8 e nº 16 a nº 200	nº 8	26,7	66,44	0,1329	0,1553	0,1593	0,1632	0,001	159,27	3,95
	nº 16 a nº 200	13,5	33,56	0,0671						

Dureza superficial por durómetro

Carolo	Dureza (shore A)				
	Valores			Média	dp
Camada interior	5	7	6	6	1
Camada intermédia	94	88	85	89	5
Camada exterior	*	*	*	0	0

B – Resultados individuais obtidos na caracterização das placas de carolo com colas naturais artesanais e fabrico artesanal

Medições das amostras após 48 h

Identificação das placas	Largura (mm)					Comprimento (mm)					Espessura (mm)									
											Lado a					Lado b				
	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp
C4_c8	103,01	103,84	103,23	103,36	0,43	207,71	207,13	205,22	206,69	1,30	35,08	36,31	31,45	34,28	2,53	32,93	36,22	33,13	34,09	1,84
F8_h0.5	101,67	102,61	101,90	102,06	0,49	200,90	202,80	202,47	202,06	1,02	30,96	32,81	31,42	31,73	0,96	28,97	31,84	31,34	30,72	1,53
FEV8_h0.5	101,91	101,22	100,10	101,08	0,91	200,89	201,24	200,27	200,80	0,49	28,76	30,16	30,48	29,80	0,91	31,76	33,50	33,96	33,07	1,16
C8_c8	100,49	100,79	101,28	100,85	0,40	200,94	201,35	201,41	201,23	0,26	32,04	31,74	30,83	31,54	0,63	31,84	31,75	30,11	31,23	0,97
FEV8_c4	117,39	116,91	114,35	116,22	1,63	229,00	230,00	231,50	230,17	1,26	48,74	48,26	46,24	47,75	1,33	50,12	47,53	46,28	47,98	1,96
C8_c4	101,29	102,05	101,77	101,70	0,38	203,45	203,85	202,06	203,12	0,94	32,55	33,46	32,57	32,86	0,52	31,50	33,13	32,02	32,22	0,83
FEVH8_c4	105,14	104,36	104,60	104,70	0,40	206,68	207,28	206,22	206,73	0,53	32,36	32,50	32,31	32,39	0,10	33,54	33,84	32,74	33,37	0,57
C4_c4	104,63	105,15	107,10	105,63	1,30	208,50	207,00	206,50	207,33	1,04	37,39	34,31	32,58	34,76	2,44	33,65	33,57	31,93	33,05	0,97
C4_c4_f1/2	104,40	104,18	105,35	104,64	0,62	205,71	207,45	207,45	206,87	1,00	33,53	34,65	34,07	34,08	0,56	34,07	34,16	34,78	34,34	0,39
C4_c4_f1/3	105,44	105,58	107,10	106,04	0,92	210,50	208,50	207,50	208,83	1,53	36,27	36,99	37,36	36,87	0,55	34,03	34,74	34,61	34,46	0,38
FEVH3_c4	109,74	109,94	110,66	110,11	0,48	215,00	215,50	215,50	215,33	0,29	38,70	36,53	37,89	37,71	1,10	40,40	39,01	39,56	39,66	0,70
FEVH34_c4	111,85	110,42	111,25	111,17	0,72	216,00	215,50	216,50	216,00	0,50	35,67	35,21	36,52	35,80	0,66	38,26	38,01	38,37	38,21	0,18
FEVH34_c4_f1/2	110,86	110,16	111,60	110,87	0,72	213,50	215,00	215,50	214,67	1,04	37,03	38,60	37,16	37,60	0,87	38,90	38,94	38,28	38,71	0,37
FEVH34_c4_f1/3	108,05	107,45	106,91	107,47	0,57	210,00	212,00	211,00	211,00	1,00	38,00	37,22	36,37	37,20	0,82	40,82	40,82	38,46	40,03	1,36
FH38_c4	105,33	105,99	106,32	105,88	0,50	210,00	209,50	209,00	209,50	0,50	36,36	37,34	38,55	37,42	1,10	39,32	38,35	37,99	38,55	0,69
FH34_c4	106,66	107,63	107,29	107,19	0,49	215,50	216,00	213,00	214,83	1,61	38,24	37,56	36,99	37,60	0,63	38,53	36,61	37,61	37,58	0,96
FH38_c4_f1/2	105,25	104,37	104,04	104,55	0,63	209,00	208,00	209,00	208,67	0,58	43,65	41,08	38,68	41,14	2,49	43,43	40,32	39,37	41,04	2,12
FH34_c4_f1/2	107,40	107,87	108,01	107,76	0,32	214,50	215,00	212,00	213,83	1,61	38,34	41,88	39,79	40,00	1,78	37,71	39,08	38,01	38,27	0,72
FH3mg_c4_f1/2	106,57	106,90	107,34	106,94	0,39	214,50	216,50	214,00	215,00	1,32	40,60	39,95	38,02	39,52	1,34	35,06	39,97	38,25	37,76	2,49
FH3mf_c4_f1/2	105,54	103,98	105,36	104,96	0,85	210,00	209,50	207,50	209,00	1,32	36,00	36,68	36,27	36,32	0,34	36,4	35,72	34,71	35,61	0,85
FEVH3mf_c4_f1/2	106,56	106,37	107,26	106,73	0,47	211,50	211,00	207,50	210,00	2,18	40,22	41,63	41,23	41,03	0,73	38,8	38,45	39,44	38,90	0,50
FEVH3mg_c4_f1/2	109,49	107,88	108,99	108,79	0,82	210,50	213,00	214,00	212,50	1,80	36,19	35,72	36,38	36,10	0,34	41,48	41,26	41,02	41,25	0,23
Cmg_c4_f1/2	106,53	106,81	108,74	107,36	1,20	210,50	207,50	206,50	208,17	2,08	38,61	37,77	35,25	37,21	1,75	35,99	38,05	38,1	37,38	1,20
Cmf_c4_f1/2	101,96	102,50	102,85	102,44	0,45	202,22	200,74	201,70	201,55	0,75	33,41	35,11	35,05	34,52	0,96	35,93	35,64	34,93	35,50	0,51

Placas para a construção com base em carolo de milho

Medições das amostras após 14 dias

Identificação das placas	Largura (mm)					Comprimento (mm)					Espessura (mm)									
											Lado a					Lado b				
	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp
C4_c8	100,86	99,63	100,95	100,48	0,74	199,59	199,94	200,58	200,04	0,50	32,65	33,93	34,47	33,68	0,93	33,41	34,32	33,65	33,79	0,47
F8_h0.5	97,57	97,95	98,14	97,89	0,29	194,59	194,41	195,40	194,80	0,53	31,05	31,02	29,28	30,45	1,01	31,53	31,96	31,40	31,63	0,29
FEV8_h0.5	96,30	96,19	97,31	96,60	0,62	193,95	194,13	194,57	194,22	0,32	29,89	30,00	28,36	29,42	0,92	32,30	32,14	31,22	31,89	0,58
C8_c8	96,10	95,33	97,00	96,14	0,84	192,51	192,53	191,78	192,27	0,43	30,98	31,11	31,07	31,05	0,07	28,99	30,04	30,47	29,83	0,76
FEV8_c4	114,59	117,74	112,17	114,83	2,79	227,50	228,00	228,00	227,83	0,29	45,91	46,81	44,41	45,71	1,21	41,71	39,70	43,22	41,54	1,77
C8_c4	95,84	95,88	97,01	96,24	0,66	194,03	193,64	192,64	193,44	0,72	29,92	29,96	30,85	30,24	0,53	30,42	31,16	31,24	30,94	0,45
FEVH8_c4	99,94	99,14	100,70	99,93	0,78	196,67	197,32	197,65	197,21	0,50	31,09	30,87	31,21	31,06	0,17	31,53	31,45	30,81	31,26	0,39
C4_c4	102,02	98,87	100,51	100,47	1,58	199,54	199,55	198,85	199,31	0,40	30,03	30,58	30,75	30,45	0,38	33,70	33,49	31,51	32,90	1,21
C4_c4_f1/2	98,44	98,26	98,49	98,40	0,12	196,56	196,10	195,05	195,90	0,77	32,12	30,93	33,66	32,24	1,37	32,19	32,42	31,32	31,98	0,58
C4_c4_f1/3	100,16	98,49	102,38	100,34	1,95	199,00	197,10	196,96	197,69	1,14	31,49	33,23	33,03	32,58	0,95	33,96	34,58	32,2	33,58	1,23
FEVH3_c4	107,28	103,89	106,37	105,85	1,75	207,00	208,00	208,50	207,83	0,76	37,85	38,1	36,81	37,59	0,68	35,39	37,09	37,65	36,71	1,18
FEVH34_c4	103,73	104,25	106,83	104,94	1,66	207,00	208,00	207,50	207,50	0,50	32,74	34,34	35,1	34,06	1,20	34,71	34,63	33,2	34,18	0,85
FEVH34_c4_f1/2	105,71	104,96	104,94	105,20	0,44	204,48	204,52	204,74	204,58	0,14	35,69	36,11	35,29	35,70	0,41	34,98	35,17	34,68	34,94	0,25
FEVH34_c4_f1/3	103,70	103,12	102,88	103,23	0,42	203,39	203,18	203,09	203,22	0,15	34,33	35,31	36,91	35,52	1,30	39,43	37,62	36,45	37,83	1,50
FH3_c4	103,60	103,74	104,30	103,88	0,37	207,54	207,02	205,47	206,68	1,08	38,71	36,92	37,44	37,69	0,92	37,89	36,59	35,34	36,61	1,28
FH34_c4	104,95	104,58	104,5	104,68	0,24	209,00	209,00	206,50	208,17	1,44	36,67	36,05	38,81	37,18	1,45	36,81	36,59	36,48	36,63	0,17
FH38_c4_f1/2	103,14	102,34	102,65	102,71	0,40	204,80	203,67	202,59	203,69	1,11	37,94	39,83	41,41	39,73	1,74	38,93	39,57	42,43	40,31	1,86
FH34_c4_f1/2	105,81	105,18	106,87	105,95	0,85	210,00	209,00	207,00	208,67	1,53	39,10	39,92	37,44	38,82	1,26	38,19	38,39	37,41	38,00	0,52
FH3mg_c4_f1/2	103,56	103,30	104,28	103,71	0,51	205,89	206,45	206,43	206,26	0,32	36,40	38,29	38,06	37,58	1,03	37,44	38,89	34,66	37,00	2,15
FH3mf_c4_f1/2	103,03	101,02	102,87	102,31	1,12	198,87	199,47	199,90	199,41	0,52	35,01	35,81	33,65	34,82	1,09	34,18	34,21	35,55	34,65	0,78
FEVH3mf_c4_f1/2	102,99	101,73	102,59	102,44	0,64	201,58	202,60	202,98	202,39	0,72	38,16	38,37	38,46	38,33	0,15	39,9	40,64	39,26	39,93	0,69
FEVH3mg_c4_f1/2	104,14	103,60	106,43	104,72	1,50	205,14	204,73	206,13	205,33	0,72	35,18	34,77	35,51	35,15	0,37	39,64	39,51	39,73	39,63	0,11
Cmg_c4_f1/2	101,20	99,81	99,99	100,33	0,76	200,75	198,66	198,65	199,35	1,21	33,50	36,20	35,45	35,05	1,39	34,78	35,45	37,04	35,76	1,16
Cmf_c4_f1/2	98,02	98,11	98,36	98,16	0,18	194,66	194,89	195,27	194,94	0,31	34,30	33,46	32,56	33,44	0,87	32,65	33,04	33,84	33,18	0,61

Massa volúmica

Identificação das placas	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa volúmica (kg/m ³)	Após 14 dias em cond. Controladas (20 °C e 65%)				
				Massa (kg)	Volume (m ³)	Alteração do volume e massa	Massa volúmica (kg/m ³)	Teor em água* (%)
C4_c8	0,3644	0,000730	498,95	0,3126	0,000678	Retraiu e perdeu massa	460,93	16,6
F8_h0.5	0,4272	0,000644	663,44	0,3300	0,000592	Retraiu e perdeu massa	557,47	29,5
FEV8_h0.5	0,3785	0,000638	593,20	0,2991	0,000575	Retraiu e perdeu massa	520,06	26,6
C8_c8	0,3625	0,000637	569,10	0,2726	0,000563	Retraiu e perdeu massa	484,32	33,0
FEV8_c4	0,3526	0,001280	275,45	0,2963	0,001141	Retraiu e perdeu massa	259,58	19,0
C8_c4	0,3897	0,000672	579,83	0,2766	0,000570	Retraiu e perdeu massa	485,74	40,9
FEVH68_c4	0,4320	0,000712	606,93	0,3082	0,000614	Retraiu e perdeu massa	501,96	40,1
C4_c4	0,3599	0,000743	484,71	0,2818	0,000634	Retraiu e perdeu massa	444,24	27,7
C4_c4_f1/2	0,3749	0,000741	506,29	0,2850	0,000619	Retraiu e perdeu massa	460,53	31,5
C4_c4_f1/3	0,3678	0,000790	465,72	0,2826	0,000656	Retraiu e perdeu massa	430,68	30,2
FEVH38_c4	0,4099	0,000917	446,87	0,3213	0,000817	Retraiu e perdeu massa	393,18	27,6
FEVH34_c4	0,4197	0,000889	472,30	0,3168	0,000743	Retraiu e perdeu massa	426,44	32,5
FEVH34_c4_f1/2	0,4330	0,000908	476,80	0,3176	0,000760	Retraiu e perdeu massa	417,82	36,3
FEVH34_c4_f1/3	0,4324	0,000876	493,76	0,3117	0,000769	Retraiu e perdeu massa	405,14	38,7
FH38_c4	0,3537	0,000843	419,76	0,3225	0,000798	Retraiu e perdeu massa	404,36	9,7
FH34_c4	0,3331	0,000866	384,74	0,3024	0,000804	Retraiu e perdeu massa	376,13	10,1
FH38_c4_f1/2	0,3550	0,000896	395,97	0,3125	0,000837	Retraiu e perdeu massa	373,23	13,6
FH34_c4_f1/2	0,3654	0,000902	405,22	0,3197	0,000849	Retraiu e perdeu massa	376,53	14,3
FH3mg_c4_f1/2	0,3610	0,000888	406,32	0,3144	0,000798	Retraiu e perdeu massa	394,10	14,8
FH3mf_c4_f1/2	0,3780	0,000789	479,19	0,3154	0,000709	Retraiu e perdeu massa	445,09	19,9
FEVH3mf_c4_f1/2	0,4257	0,000896	475,31	0,3221	0,000811	Retraiu e perdeu massa	396,98	32,2
FEVH3mg_c4_f1/2	0,4109	0,000894	459,61	0,3028	0,000804	Retraiu e perdeu massa	376,62	35,7
Cmg_c4_f1/2	0,3709	0,000833	445,00	0,2664	0,000708	Retraiu e perdeu massa	376,15	39,2
Cmf_c4_f1/2	0,3933	0,000723	544,07	0,2952	0,000637	Retraiu e perdeu massa	463,09	33,2

Condutibilidade térmica

Identificação das placas	Lado a			Lado b					Após 14 dias em condições controladas				
	Extremo	Extremo	Meio	Extremo	Extremo	Meio			Extremo	Extremo	Meio		
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média	dp	1º	2º	3º	Média	dp
C4_c8	0,121	0,116	0,131	0,116	0,125	0,118	0,121	0,006	0,100	0,106	0,105	0,104	0,003
F8_h0.5	0,146	0,154	0,158	0,188	0,184	0,185	0,169	0,019	0,124	0,122	0,119	0,122	0,003
FEV8_h0.5	0,125	0,127	0,127	0,164	0,170	0,166	0,147	0,022	0,116	0,118	0,11	0,115	0,004
C8_c8	0,144	0,145	0,151	0,155	0,158	0,159	0,152	0,006	0,115	0,114	0,115	0,115	0,001
FEV8_c4	0,081	0,078	0,079	0,090	0,093	0,093	0,086	0,007	0,073	0,075	0,073	0,074	0,002
C8_c4	0,187	0,172	0,190	0,136	0,139	0,142	0,161	0,025	0,110	0,107	0,108	0,108	0,002
FEVH68_c4	0,141	0,148	0,139	0,186	0,199	0,208	0,170	0,031	0,113	0,114	0,115	0,114	0,001
C4_c4	0,142	0,141	0,141	0,135	0,141	0,136	0,139	0,003	0,101	0,105	0,107	0,104	0,003
C4_c4_f1/2	0,139	0,139	0,144	0,155	0,145	0,154	0,146	0,007	0,105	0,107	0,118	0,110	0,007
C4_c4_f1/3	0,107	0,110	0,116	0,126	0,116	0,124	0,117	0,007	0,102	0,109	0,105	0,105	0,004
FEVH38_c4	0,103	0,107	0,108	0,107	0,104	0,108	0,106	0,002	0,093	0,097	0,094	0,095	0,002
FEVH34_c4	0,103	0,098	0,103	0,115	0,118	0,119	0,109	0,009	0,093	0,093	0,099	0,095	0,004
FEVH34_c4_f1/2	0,109	0,102	0,105	0,133	0,123	0,121	0,116	0,012	0,103	0,100	0,092	0,098	0,006
FEVH34_c4_f1/3	0,108	0,125	0,113	0,103	0,110	0,105	0,111	0,008	0,103	0,097	0,097	0,099	0,003
FH38_c4	0,097	0,093	0,096	0,096	0,094	0,101	0,096	0,003	0,090	0,093	0,095	0,093	0,003
FH34_c4	0,098	0,094	0,097	0,096	0,100	0,099	0,097	0,002	0,097	0,087	0,088	0,091	0,006
FH38_c4_f1/2	0,100	0,098	0,101	0,099	0,097	0,102	0,099	0,002	0,093	0,093	0,098	0,095	0,003
FH34_c4_f1/2	0,092	0,094	0,100	0,096	0,098	0,098	0,096	0,003	0,090	0,090	0,097	0,092	0,004
FH3mg_c4_f1/2	0,096	0,091	0,097	0,109	0,105	0,100	0,099	0,007	0,092	0,098	0,098	0,096	0,003
FH3mf_c4_f1/2	0,104	0,105	0,107	0,110	0,107	0,112	0,108	0,003	0,105	0,104	0,107	0,105	0,002
FEVH3mf_c4_f1/2	0,103	0,098	0,103	0,104	0,100	0,106	0,102	0,003	0,101	0,102	0,104	0,102	0,002
FEVH3mg_c4_f1/2	0,111	0,111	0,109	0,115	0,108	0,120	0,112	0,004	0,096	0,104	0,087	0,096	0,008
Cmg_c4_f1/2	0,116	0,109	0,111	0,115	0,123	0,133	0,118	0,009	0,097	0,098	0,092	0,096	0,003
Cmf_c4_f1/2	0,118	0,116	0,123	0,113	0,119		0,118	0,004	0,103	0,105	0,111	0,106	0,004

Durómetro Shore A

Placa	Dureza (Shore A)																Média	dp
C4_c8	73	56	90	64	42	90	80	52	60	50	66	52	90	74	71		67	16
F8_h0.5	87	82	76	85	62	76	60	84	74	85	66	77	69	74	70		75	9
FEV8_h0.5	59	65	84	85	68	70	68	86	52	80	75	77	60	80	72		72	10
C8_c8	73	67	75	50	35	67	29	45	26	33	56	50	26	59	47		49	17
FEV8_c4	15	33	25	32	10	15	7	1	14	14	5	12	2	2	11		13	10
C8_c4	42	86	50	48	65	54	77	62	41	62	81	83	5	80	89		62	23
FEVH68_c4	52	69	8	24	72	36	55	57	45	65	60	67	57	24	45		49	19
C4_c4	32	52	15	32	50	39	25	58	30	53	63	21	70	68	49		44	17
C4_c4_f1/2	38	32	43	85	58	42	24	23	14	52	54	46	39	43	50		43	17
C4_c4_f1/3	51	3	55	44	26	68	27	30	48	20	41	7	45	12	66		36	20
FEVH38_c4	34	11	33	16	22	32	31	6	44	22	11	20	15	18	17		22	11
FEVH34_c4	32	37	11	52	39	53	68	41	9	32	34	21	40	59	68		40	18
FEVH34_c4_f1/2	64	63	52	28	52	51	65	6	46	12	32	25	18	29	15		37	20
FEVH34_c4_f1/3	34	38	44	46	15	39	42	17	45	61	31	57	41	66	20		40	15
FH38_c4	30	65	52	25	48	28	53	27	27	53	60	44	34	36	49		42	13
FH34_c4	65	70	43	51	29	38	25	6	63	56	48	25	62	70	48		47	19
FH38_c4_f1/2	63	23	24	49	35	29	28	42	56	52	51	35	59	42	39		42	13
FH34_c4_f1/2	12	37	45	53	42	29	21	6	16	32	33	41	46	24	6		30	15
FH3mg_c4_f1/2	53	41	32	43	54	32	81	50	65	24	60	68	64	10	19		46	20
FH3mf_c4_f1/2	22	19	52	35	25	29	32	51	34	41	49	40	32	16	41		35	11
FEVH3mf_c4_f1/2	44	18	30	25	36	11	16	11	23	21	20	51	31	50	19		27	13
FEVH3mg_c4_f1/2	40	44	50	56	37	42	51	41	31	42	36	34	24	21	38		39	9
Cmg_c4_f1/2	19	32	56	53	64	68	56	48	35	28	31	34	61	42	82		47	18
Cmf_c4_f1/2	26	6	53	69	43	60	56	49	43	65	50	24	46	76	37		47	18

Esclerómetro pendular

Identificação da placa	graus Vickers				
	cima	meio	baixo	Média	dp
C4_c8	71	70	73	71	2
F8_h0.5	70	70	70	70	0
FEV8_h0.5	72	75	72	73	2
C8_c8	69	72	69	70	2
FEV8_c4	*	*	*		
C8_c4	70	68	72	70	2
FEVH ₆ 8_c4	69	68	59	65	6
C4_c4	64	68	66	66	2
C4_c4_f1/2	62	66	70	66	4
C4_c4_f1/3	57	60	65	61	4
FEVH ₃ 8_c4	55	55	55	55	0
FEVH ₃ 4_c4	49	57	56	54	4
FEVH ₃ 4_c4_f1/2	54	58	61	58	4
FEVH ₃ 4_c4_f1/3	52	53	61	55	5
FH ₃ 8_c4	59	61	64	61	3
FH ₃ 4_c4	55	58	57	57	2
FH ₃ 8_c4_f1/2	58	56	62	59	3
FH ₃ 4_c4_f1/2	58	58	55	57	2
FH ₃ mg_c4_f1/2	59	63	67	63	4
FH ₃ mf_c4_f1/2	63	60	62	62	2
FEVH ₃ mf_c4_f1/2	55	57	56	56	1
FEVH ₃ mg_c4_f1/2	57	52	54	54	3
Cmg_c4_f1/2	56	58	63	59	4
Cmf_c4_f1/2	68	72	73	71	3

Velocidade de propagação de ultrassons

Identificação da placa	Velocidade - Direto (m/s)		Velocidade - Indireto (m/s)	
	Média	dp	Média	dp
C4_c8	94	26	636	202
F8_h0.5	121	9	637	172
FEV8_h0.5	122	17	664	179
C8_c8	115	27	465	93
FEV8_c4	245	111	363	56
C8_c4	103	19	414	60
FEVH68_c4	110	24	445	71
C4_c4	87	24	452	92
C4_c4_f1/2	96	25	433	95
C4_c4_f1/3	97	24	416	94
FEVH38_c4	91	25	403	60
FEVH34_c4	96	28	392	76
FEVH34_c4_f1/2	90	15	442	108
FEVH34_c4_f1/3	89	30	411	115
FH38_c4	82	17	323	73
FH34_c4	79	15	319	90
FH38_c4_f1/2	79	22	302	58
FH34_c4_f1/2	79	28	312	71
FH3mg_c4_f1/2	77	17	351	61
FH3mf_c4_f1/2	76	16	338	103
FEVH3mf_c4_f1/2	87	25	329	76
FEVH3mg_c4_f1/2	109	13	312	85
Cmg_c4_f1/2	84	20	345	133
Cmf_c4_f1/2	90	18	311	87

Flexão

Identificação das placas	Distância entre eixos (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (KPa)
C4_c8	150	100,48	33,74	154,88	305
F8_h0.5		97,89	31,04	317,47	757
FEV8_h0.5		96,60	30,65	281,16	697
C8_c8		96,14	30,44	233,88	591
FEV8_c4					
C8_c4	150	96,24	30,59	226,50	566
FEVH68_c4		99,93	31,16	449,93	1043
C4_c4		100,47	31,68	70,87	158
C4_c4_f1/2		98,40	32,11	105,21	233
C4_c4_f1/3		100,34	33,08	77,76	159
FEVH38_c4		105,85	37,15	76,88	118
FEVH34_c4		104,94	34,12	114,44	211
FEVH34_c4_f1/2		105,20	35,32	152,04	261
FEVH34_c4_f1/3		103,23	36,68	108,03	175
FH38_c4		103,88	37,15	61,30	96
FH34_c4		104,68	36,90	32,23	51
FH38_c4_f1/2		102,71	40,02	91,41	125
FH34_c4_f1/2		105,95	38,41	39,38	57
FH3mg_c4_f1/2		103,71	37,29	106,23	166
FH3mf_c4_f1/2		102,31	34,74	148,02	270
FEVH3mf_c4_f1/2		102,44	39,13	119,40	171
FEVH3mg_c4_f1/2		104,72	37,39	84,96	131
Cmg_c4_f1/2		100,33	35,40	51,20	92
Cmf_c4_f1/2		98,16	33,31	208,75	431

Módulo de Elasticidade dinâmico

Identificação das placas									Valor mais provável	dp
C4_c8	264	328	395	638	227	260	310		297	60
F8_h0.5	614	670	413	446	628	738	430		430	17
FEV8_h0.5	772	275	441	512	566	589			527	66
C8_c8	242	242	146	272					252	17
FEV8_c4	804	955	804						854	87
C8_c4	556	637	257	748	258	410			308	88
FEVH68_c4	468	461	430						453	20
C4_c4	572	614	632	332	581				600	28
C4_c4_f1/2	331	392	391	451	635	740			391	49
C4_c4_f1/3	371	932	381	383	498	497			426	65
FEVH38_c4	273	235	399	553	460				471	78
FEVH34_c4	213	290	320	436	222	490			415	87
FEVH34_c4_f1/2	239	355	573	668	238	319	454	652	587	98
FEVH34_c4_f1/3	356	570	661	197	484	596			550	59
FH38_c4	327	675	357	481	333	486			414	80
FH34_c4	471	363	538	467	534				505	39
FH38_c4_f1/2	124	354	423	424					400	40
FH34_c4_f1/2	372	220	469	495					445	65
FH3mg_c4_f1/2	168	158	506	635	253	477	657		569	90
FH3mf_c4_f1/2	591	282	438	504	566	213	313	498	312	94
FEVH3mf_c4_f1/2	237	419	559	689	423	501			476	67
FEVH3mg_c4_f1/2	102	250	334	534	411				426	101
Cmg_c4_f1/2	784	203	327	201					244	72
Cmf_c4_f1/2	633	318	326	391	755				345	40

Compressão

Identificação das placas	Área inicial* (mm ²)	Força máxima 1 (N)	Força máxima 2 (N)
C4_c8	2500	958	-
F8_h0.5		3020	1644
FEV8_h0.5		2828	2393
C8_c8		4565	3042
FEV8_c4		63	80
C8_c4		3850	3669
FEVH68_c4		4560	3889
C4_c4		2040	1701
C4_c4_f1/2		2177	1188
C4_c4_f1/3		1670	1188
FEVH38_c4		902	650
FEVH34_c4		1286	1137
FEVH34_c4_f1/2		1145	1252
FEVH34_c4_f1/3		1129	954
FH38_c4		847	752
FH34_c4		853	622
FH38_c4_f1/2		651	398
FH34_c4_f1/2		649	407
FH3mg_c4_f1/2		973	897
FH3mf_c4_f1/2		1152	1118
FEVH3mf_c4_f1/2		741	597
FEVH3mg_c4_f1/2		871	715
Cmg_c4_f1/2		1145	1127
Cmf_c4_f1/2		1710	2089

Resiliência



















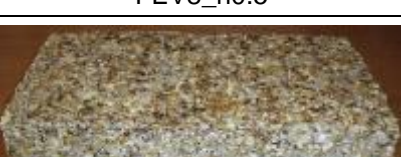





Identificação das placas	Espessura inicial (mm)	Força comp. p/ % esp. (N)	Esp. quando comprimido (mm)	Força no final dos 5 min a % da esp.	Espessura final (mm)	R (%)
C4_c8	–					
F8_h0.5	30,91	1644	27,819	1324	30,12	74
FEV8_h0.5	31,13	2393	28,017	1573	30,71	87
C8_c8	28,40	3042	25,56	1884	27,82	80
FEV8_c4	45,74	80	41,166	50	45,58	97
C8_c4	28,64	3669	25,776	1974	28,11	81
FEVH68_c4	30,53	3889	27,477	1663	29,54	68
C4_c4	31,15	1701	28,035	1177	30,20	69
C4_c4_f1/2	32,89	1188	29,601	840	31,89	70
C4_c4_f1/3	34,14	1188	30,726	708	32,89	63
FEVH38_c4	37,75	650	33,975	432	36,82	75
FEVH34_c4	34,80	1137	31,32	727	33,97	76
FEVH34_c4_f1/2	38,12	1252	34,308	769	37,12	74
FEVH34_c4_f1/3	37,92	954	34,128	621	36,52	63
FH38_c4	38,60	752	34,74	487	38,09	87
FH34_c4	36,30	622	32,67	394	35,92	89
FH38_c4_f1/2	31,75	398	28,575	267	30,83	71
FH34_c4_f1/2	40,10	407	36,09	265	38,98	72
FH3mg_c4_f1/2	37,98	897	34,182	588	37,81	95
FH3mf_c4_f1/2	36,43	1118	32,787	737	35,02	61
FEVH3mf_c4_f1/2	41,16	597	37,044	391	39,52	60
FEVH3mg_c4_f1/2	37,65	715	33,885	450	36,27	63
Cmg_c4_f1/2	34,44	1127	30,996	661	33,89	84
Cmf_c4_f1/2	33,03	2089	29,727	1248	32,04	70

Placas para a construção com base em carolo de milho

Permeabilidade ao vapor de água

Identificação das placas	Espessura amostra (mm)	Área de exposição (m²)	Massa do conjunto ao longo do tempo (mg)										Diferença de massa num intervalo de tempo (mg/h)										Média (mg/h)				Permeabilidade vapor de água (mg/mhPa)
			m1 (Inicial)	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	G _{1,2}	G _{2,3}	G _{3,4}	G _{4,5}	G _{5,6}	G _{6,7}	G _{7,8}	G _{8,9}	G _{9,10}	G		0,05*G	G+0,05*G	G-0,05*G	
C4_c8	33,74	0,0099	286031	285191	284282	283057	281883	280643	279330	278061	-		-35,00	-37,88	-51,04	-48,92	-51,67	-50,50	-50,76	-		50,58	2,53	53,11	48,05	0,14	
F8_h0.5	31,04	0,0068	249548	249123	248680	248190	247684	247138	246541	245932	245342	244748	-17,71	-18,46	-20,42	-21,08	-22,75	-22,96	-24,36	-24,58	-24,75	23,88	1,19	25,08	22,69	0,09	
FEV8_h0.5	30,65	0,0063	232134	231651	231152	230582	229983	229338	228629	227927	227251	226573	-20,13	-20,79	-23,75	-24,96	-26,88	-27,27	-28,08	-28,17	-28,25	27,73	1,39	29,11	26,34	0,11	
C8_c8	30,44	0,0091	265225	264550	264067	263524	262979	262408	261767	261145	-		-28,13	-20,13	-22,63	-22,71	-23,79	-24,65	-24,88	-		23,73	1,19	24,92	22,55	0,07	
C8_c4	30,59	0,0091	258145	257549	257057	256404	255698	254986	254286	253614	252932	-	-24,83	-20,50	-27,21	-29,42	-29,67	-26,92	-26,88	-28,42	-	28,26	1,41	29,67	26,85	0,08	
FEVH6_c4	31,16	0,0076	249779	249241	248699	248107	247525	246919	246262	245579	244942	244319	-22,42	-22,58	-24,67	-24,25	-25,25	-25,27	-27,32	-26,54	-25,96	26,07	1,30	27,37	24,76	0,09	
C4_c4	31,68	0,0057	213394	212385	211386	209991	208766	207434	205996	204715	203480	-	-42,04	-41,63	-58,13	-51,04	-55,50	-55,31	-51,24	-51,46	-	52,91	2,65	55,56	50,26	0,24	
C4_c4_f1/2	32,11	0,0094	257572	255352	253459	251165	248918	245816	242412	239254	236392	233533	-92,50	-78,88	-95,58	-93,63	-129,25	-130,92	-126,32	-119,25	-119,13	124,97	6,25	131,22	118,72	0,35	
C4_c4_f1/3	33,08	0,0074	226598	224965	223003	220188	217941	215654	213192	210999	208906	-	-68,04	-81,75	-117,29	-93,63	-95,29	-94,69	-87,72	-87,21	-	91,71	4,59	96,29	87,12	0,34	
FEVH3_c4	37,15	0,0084	255090	254340	253578	252735	251828	250923	249873	248866	247879	-	-31,25	-31,75	-35,13	-37,79	-37,71	-40,38	-40,28	-41,13	-	39,46	1,97	41,43	37,49	0,14	
FEVH3_4_c4	34,12	0,0109	284687	283376	282109	280771	279537	278399	277185	275896	274733	-	-54,63	-52,79	-55,75	-51,42	-47,42	-46,69	-51,56	-48,46	-	49,11	2,46	51,56	46,65	0,13	
FEVH3_4_c4_f1/2	35,32	0,0107	288435	287576	286825	285974	285037	284049	282981	281910	280823	279736	-35,79	-31,29	-35,46	-39,04	-41,17	-41,08	-42,84	-45,29	-45,29	43,13	2,16	45,29	40,98	0,12	
FEVH3_4_c4_f1/3	36,68	0,0062	224996	224071	223454	222528	221754	220929	220014	219215	218397	-	-38,54	-25,71	-38,58	-32,25	-34,38	-35,19	-31,96	-34,08	-	33,57	1,68	35,25	31,89	0,16	
FH3_c4	37,15	0,0076	239021	238420	237694	236755	235678	234524	233323	232152	230967	-	-25,04	-30,25	-39,13	-44,88	-48,08	-46,19	-46,84	-49,38	-	47,07	2,35	49,43	44,72	0,19	
FH3_4_c4	36,90	0,0075	234580	232831	232065	231092	230182	229200	228135	227057	225977	224893	-72,88	-31,92	-40,54	-37,92	-40,92	-40,96	-43,12	-45,00	-45,17	43,03	2,15	45,18	40,88	0,17	
FH3_c4_f1/2	40,02	0,0057	208422	207805	207076	206398	205601	204803	204009	203226	202494	-	-25,71	-30,38	-28,25	-33,21	-33,25	-30,54	-31,32	-30,50	-	31,76	1,59	33,35	30,18	0,18	
FH3_4_c4_f1/2	38,41	0,0091	250461	248915	247890	247015	246142	245284	244287	243387	-		-64,42	-42,71	-36,46	-36,38	-35,75	-38,35	-36,00	-		36,59	1,83	38,42	34,76	0,13	
FH3mg_c4_f1/2	37,29	0,0063	211402	210764	209991	209001	208150	207262	206264	205308	204408	-	-26,58	-32,21	-41,25	-35,46	-37,00	-38,38	-38,24	-37,50	-	37,32	1,87	39,18	35,45	0,18	
FH3mf_c4_f1/2	34,74	0,0081	249049	248400	247852	247249	246562	245830	245053	244279	243547	-	-27,04	-22,83	-25,13	-28,63	-30,50	-29,88	-30,96	-30,50	-	30,09	1,50	31,60	28,59	0,11	
FEVH3mf_c4_f1/2	39,13	0,0087	251978	251381	250666	249922	249003	248085	247091	246112	245243	-	-24,88	-29,79	-31,00	-38,29	-38,25	-38,23	-39,16	-36,21	-	38,03	1,90	39,93	36,13	0,14	
FEVH3mg_c4_f1/2	37,39	0,0080	234430	233655	232902	231944	230980	229956	228892	227878	-		-32,29	-31,38	-39,92	-40,17	-42,67	-40,92	-40,56	-		40,85	2,04	42,89	38,80	0,16	
Cmg_c4_f1/2	35,40	0,0069	213598	212302	211164	210011	208776	207419	206077	204671	203388	-	-54,00	-47,42	-48,04	-51,46	-56,54	-51,62	-56,24	-53,46	-	53,86	2,69	56,56	51,17	0,23	
Cmf_c4_f1/2	33,31	0,0086	248207	247628	246931	246285	245560	244822	243981	243170	242395	-	-24,13	-29,04	-26,92	-30,21	-30,75	-32,35	-32,44	-32,29	-	31,61	1,58	33,19	30,03	0,10	

C – Aspeto visual das placas

		
C8_c8	C8_c4	C4_c8
		
C4_c4	C4_c4_f1/2	C4_c4_f1/3
		
Cmg_c4_f1/2	Cmf_c4_f1/2	F8_h0.5
		
FH38_c4	FH34_c4	FH38_c4_f1/2
		
FH34_c4_f1/2	FH3mg_c4_f1/2	FH3mf_c4_f1/2
		
FEV8_h0.5	FEV8_c4	FEVH68_c4
		
FEVH38_c4	FEVH34_c4	FEVH34_c4_f1/2
		
FEVH34_c4_f1/3	FEVH3mg_c4_f1/2	FEVH3mf_c4_f1/2

D – Resultados individuais obtidos na caracterização das placas de carolo com colas naturais artesanais e com cola comercial e fabrico laboratorial

Condutibilidade térmica

Identificação das placas	Lado a			Lado b					Após 14 dias em condições controladas				
	Extremo	Extremo	Meio	Extremo	Extremo	Meio			Extremo	Extremo	Meio		
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média	dp	1º	2º	3º	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	0,143	0,141	0,135	0,132	0,135	0,146	0,139	0,005	0,125	0,120	0,133	0,126	0,007
C8_c8_f1/2_2	0,142	0,138	0,149	0,154	0,156	0,157	0,149	0,008	0,141	0,134	0,129	0,135	0,006
C8_c8_f1/2_3	0,142	0,142	0,140	0,140	0,136	0,140	0,140	0,002	0,131	0,135	0,126	0,131	0,005
FB8_h0.5_f1/2_1	0,086	0,086	0,086	0,093	0,091	0,089	0,088	0,003	0,087	0,087	0,085	0,086	0,001
FB8_h0.5_f1/2_2	0,082	0,084	0,085	0,092	0,091	0,090	0,087	0,004	0,083	0,081	0,080	0,082	0,001
FB8_h0.5_f1/2_3	0,084	0,085	0,087	0,094	0,092	0,092	0,089	0,004	0,091	0,090	0,095	0,092	0,002
FEHB8_c4_f1/2_1	0,090	0,104	0,097	0,103	0,106	0,106	0,101	0,006	0,102	0,097	0,103	0,101	0,003
FEHB8_c4_f1/2_2	0,091	0,101	0,095	0,108	0,110	0,104	0,102	0,007	0,099	0,099	0,096	0,098	0,001
FEHB8_c4_f1/2_3	0,090	0,103	0,095	0,104	0,100	0,098	0,098	0,005	0,101	0,101	0,100	0,101	0,001
BB8_h8_f1/2	0,089	0,090	0,088	0,091	0,096	0,092	0,091	0,003	0,090	0,092	0,092	0,091	0,001
BB8_c8_f1/2	0,097	0,095	0,098	0,093	0,096	0,090	0,095	0,003	0,091	0,088	0,092	0,090	0,002
BB8_c4_f1/2	0,097	0,108	0,093	0,096	0,093	0,081	0,095	0,009	0,089	0,088	0,085	0,087	0,002

Medições após 48 h

Identificação das placas	Largura (mm)					Comprimento (mm)					Espessura (mm)									
	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	145,91	146,82	145,60	146,11	0,63	303,50	306,00	305,00	304,83	1,26	28,00	25,59	26,17	26,59	1,26	25,50	26,11	26,73	26,11	0,62
C8_c8_f1/2_2	144,15	145,59	142,54	144,09	1,53	304,50	305,00	305,50	305,00	0,50	23,87	23,46	22,46	23,26	0,73	22,17	23,92	27,23	24,44	2,57
C8_c8_f1/2_3	143,82	144,86	144,07	144,25	0,54	302,00	305,00	303,00	303,33	1,53	26,51	26,24	27,46	26,74	0,64	27,02	24,09	24,84	25,32	1,52
FB8_h0.5_f1/2_1	149,64	156,56	152,36	152,85	3,49	316,50	321,50	320,00	319,33	2,57	39,12	45,22	42,59	42,31	3,06	37,86	41,62	39,88	39,79	1,88
FB8_h0.5_f1/2_2	155,02	159,39	156,08	156,83	2,28	325,00	329,50	325,00	326,50	2,60	37,36	44,85	35,54	39,25	4,93	36,35	42,24	42,92	40,50	3,61
FB8_h0.5_f1/2_3	154,54	157,15	152,43	154,71	2,36	315,00	317,00	316,00	316,00	1,00	42,15	43,37	42,85	42,79	0,61	38,62	37,18	39,63	38,48	1,23
FEHB8_c4_f1/2_1	150,64	151,47	149,63	150,58	0,92	312,50	310,50	308,50	310,50	2,00	35,18	34,35	38,60	36,04	2,25	40,83	35,38	38,00	38,07	2,73
FEHB8_c4_f1/2_2	151,16	152,31	150,96	151,48	0,73	318,00	317,50	315,00	316,83	1,61	42,49	38,63	38,67	39,93	2,22	39,24	36,32	41,70	39,09	2,69
FEHB8_c4_f1/2_3	148,70	152,04	149,77	150,17	1,71	312,00	315,00	309,50	312,17	2,75	35,03	43,01	39,55	39,20	4,00	38,54	41,41	37,45	39,13	2,05
BB8_h8_f1/2	140,99	141,26	141,10	141,12	0,14	299,00	300,00	300,00	299,67	0,58	29,23	30,42	29,47	29,71	0,63	30,67	28,24	27,49	28,80	1,66
BB8_c8_f1/2	145,04	145,00	144,62	144,89	0,23	303,00	304,00	303,50	303,50	0,50	27,40	28,34	30,08	28,61	1,36	33,30	28,46	31,15	30,97	2,43
BB8_c4_f1/2	144,39	145,17	142,97	144,18	1,12	303,50	306,50	304,00	304,67	1,61	34,75	34,26	32,99	34,00	0,91	28,78	26,51	27,63	27,64	1,14

Placas para a construção com base em carolo de milho

Medições após 14 dias

Identificação das placas	Largura (mm)					Comprimento (mm)					Espessura (mm)									
											Lado a					Lado b				
	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp	Extremo	Meio	Extremo	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	140,76	141,49	141,14	141,13	0,37	294,00	296,50	295,50	295,33	1,26	24,46	25,24	25,26	24,99	0,46	25,84	25,27	24,52	25,21	0,66
C8_c8_f1/2_2	139,40	139,78	137,99	139,06	0,94	294,50	293,50	293,50	293,83	0,58	23,83	23,40	22,00	23,08	0,96	26,03	23,29	21,45	23,59	2,30
C8_c8_f1/2_3	139,19	139,66	139,15	139,33	0,28	293,50	293,50	293,00	293,33	0,29	25,97	25,43	25,24	25,55	0,38	25,87	23,44	23,88	24,40	1,29
FB8_h0.5_f1/2_1	148,16	153,04	151,05	150,75	2,45	315,50	318,50	317,00	317,00	1,50	36,03	42,81	40,34	39,73	3,43	37,72	41,39	39,52	39,54	1,84
FB8_h0.5_f1/2_2	152,49	154,11	154,15	153,58	0,95	322,00	324,00	322,00	322,67	1,15	36,01	41,69	40,85	39,52	3,07	36,83	40,79	38,72	38,78	1,98
FB8_h0.5_f1/2_3	150,7	152,16	150,58	151,15	0,88	311,50	313,00	310,50	311,67	1,26	37,57	36,84	36,74	37,05	0,45	38,65	42,64	42,28	41,19	2,21
FEHB8_c4_f1/2_1	146,62	147,54	145,60	146,59	0,97	302,00	301,00	299,50	300,83	1,26	35,52	33,27	38,52	35,77	2,63	32,73	32,44	37,36	34,18	2,76
FEHB8_c4_f1/2_2	145,36	146,61	146,54	146,17	0,70	308,00	306,50	305,00	306,50	1,50	34,36	35,98	41,10	37,15	3,52	33,66	34,14	38,91	35,57	2,90
FEHB8_c4_f1/2_3	145,59	147,09	144,92	145,87	1,11	305,50	307,00	304,50	305,67	1,26	38,56	39,77	34,88	37,74	2,55	37,92	41,19	35,87	38,33	2,68
BB8_h8_f1/2	141,46	141,99	141,2	141,55	0,40	299,00	301,00	299,50	299,83	1,04	28,8	28,89	31,19	29,63	1,35	29,85	30,23	30,86	30,31	0,51
BB8_c8_f1/2	146,41	146,46	146,71	146,53	0,16	303,50	304,50	303,00	303,67	0,76	27,72	28,64	31,74	29,37	2,11	35,15	29,72	32,46	32,44	2,72
BB8_c4_f1/2	146,92	148,98	146,06	147,32	1,50	305,00	307,50	309,00	307,17	2,02	38,88	37,33	34,11	36,77	2,43	30,1	26,25	30,19	28,85	2,25

Massa volúmica

Identificação das placas	Após desmoldagem			Após 14 dias				
	Massa (kg)	Volume (m³)	Massa volúmica (kg/m³)	Massa (kg)	Volume (m³)	Alteração do volume e massa	Massa volúmica (kg/m³)	Teor em água* (%)
C8_c8_f1/2_1	0,6815	0,001174	580,65	0,5813	0,001046	Retraiu e perdeu massa	555,69	17,2
C8_c8_f1/2_2	0,6280	0,001048	599,10	0,5341	0,000953	Retraiu e perdeu massa	560,24	17,6
C8_c8_f1/2_3	0,6755	0,001139	593,16	0,5783	0,001021	Retraiu e perdeu massa	566,63	16,8
FB8_h0.5_f1/2_1	0,7045	0,002004	351,61	0,6141	0,001894	Retraiu e perdeu massa	324,24	14,7
FB8_h0.5_f1/2_2	0,7142	0,002042	349,80	0,6156	0,001940	Retraiu e perdeu massa	317,32	16,0
FB8_h0.5_f1/2_3	0,7237	0,001986	364,31	0,6240	0,001843	Retraiu e perdeu massa	338,63	16,0
FEHB8_c4_f1/2_1	0,7531	0,001733	434,64	0,6485	0,001542	Retraiu e perdeu massa	420,47	16,1
FEHB8_c4_f1/2_2	0,7638	0,001896	402,82	0,6588	0,001629	Retraiu e perdeu massa	404,45	15,9
FEHB8_c4_f1/2_3	0,7795	0,001836	424,54	0,6831	0,001696	Retraiu e perdeu massa	402,86	14,1
BB8_h8_f1/2	0,4857	0,001237	392,60	0,4922	0,001272	Expandiu um pouco e aumentou ligeiramente massa	386,92	-1,3
BB8_c8_f1/2	0,4951	0,001310	377,98	0,4943	0,001375	Expandiu um pouco e perdeu ligeiramente massa	359,49	0,2
BB8_c4_f1/2	0,4983	0,001354	368,10	0,4908	0,001485	Expandiu um pouco e perdeu ligeiramente massa	330,57	1,5

Velocidade de propagação de ultrassons - direto

	Tempo (μs)				Distância (mm)		Velocidade (m/s)					
	A'B'	C'D'	E'F'	A'E'	A'B'/C'D'/E'F'	A'E'	A'B'	C'D'	E'F'	A'E'	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	1058,6	1556,6	1282,6	1721,6	146,1	304,8	138,0	93,9	113,9	177,1	131	34
	1056,6	1587,2	1294,3	1658,4			138,3	92,1	112,9	183,8		
	1054,2	1586,6	1273,1	1701,4			138,6	92,1	114,8	179,2		
C8_c8_f1/2_2	1069,1	1598,4	1562,3	2100,2	144,1	305,0	134,8	90,1	92,2	145,2	116	26
	1055,8	1587,5	1586,5	2084,1			136,5	90,8	90,8	146,3		
	1054,9	1567,6	1598,9	2082,0			136,6	91,9	90,1	146,5		
C8_c8_f1/2_3	1299,5	1071,9	1068,6	2163,2	144,3	303,3	111,0	134,6	135,0	140,2	130	12
	1331,0	1076,6	1068,4	2141,6			108,4	134,0	135,0	141,6		
	1299,3	1089,7	1069,3	2162,2			111,0	132,4	134,9	140,3		
FB8_h0.5_f1/2_1	1974,1	1131,6	1446,0	2602,2	152,9	319,3	77,4	135,1	105,7	122,7	107	21
	1772,5	1240,6	2064,2	2778,1			86,2	123,2	74,0	114,9		
	1573,4	1522,7	1107,3	2995,5			97,1	100,4	138,0	106,6		
FB8_h0.5_f1/2_2	1526,3	1234,5	1154,3	2153,4	156,8	326,5	102,8	127,0	135,9	151,6	126	22
	1041,3	1225,9	1895,1	2219,6			150,6	127,9	82,8	147,1		
	1306,4	1278,3	1590,8	2287,6			120,0	122,7	98,6	142,7		
FB8_h0.5_f1/2_3	2023,0	2078,4	1601,6	2378,0	154,7	316,0	76,5	74,4	96,6	132,9	107	33
	2110,0	1476,5	1172,4	1999,5			73,3	104,8	132,0	158,0		
	1648,9	1427,8	2189,1	1940,6			93,8	108,4	70,7	162,8		
FEHB8_c4_f1/2_1	1283,6	1137,4	1110,9	2122,2	150,6	310,5	117,3	132,4	135,5	146,3	132	28
	1038,0	1383,3	1121,0	2818,2			145,1	108,9	134,3	110,2		
	1376,0	1470,1	1075,8	1512,3			109,4	102,4	140,0	205,3		
FEHB8_c4_f1/2_2	1247,0	1535,6	1222,2	2830,3	151,5	316,8	121,5	98,6	123,9	111,9	101	24
	1211,5	2055,3	2547,2	2411,3			125,0	73,7	59,5	131,4		
	1575,3	1674,5	2170,8	2931,1			96,2	90,5	69,8	108,1		
FEHB8_c4_f1/2_3	1528,8	2021,4	1689,2	2244,2	150,2	312,2	98,2	74,3	88,9	139,1	107	27
	1368,7	1575,9	1423,1	2611,0			109,7	95,3	105,5	119,6		
	1725,6	1223,0	1998,7	1897,6			87,0	122,8	75,1	164,5		

Velocidade de propagação de ultrassons - indireto

	Tempo (µs)										Distância (mm)										Velocidade (m/s)											
	AB	AC	AD	AE	AF	FE	FD	FC	FB	FA	AB	AC	AD	AE	AF	FE	FD	FC	FB	FA	AB	AC	AD	AE	AF	FE	FD	FC	FB	FA	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	257,7	329,5	387,6	660,3	961,2	304,8	347,9	389,6	722,9	711,4	100,0	100,0	141,4	200,0	223,6	100,0	100,0	141,4	200,0	223,6	388,0	303,5	364,9	302,9	232,6	328,1	287,4	363,0	276,7	314,3	318	46
	256,0	328,5	385,2	660,4	975,2	303,5	338,5	388,7	711,6	700,1											390,6	304,4	367,1	302,8	229,3	329,5	295,4	363,8	281,1	319,4		
	255,2	328,1	385,2	660,0	971,9	304,2	338,9	387,7	718,7	691,7											391,8	304,8	367,1	303,0	230,1	328,7	295,1	364,8	278,3	323,3		
C8_c8_f1/2_2	364,6	299,0	478,1	874,9	772,8	276,5	295,9	429,3	720,4	814,3											274,3	334,4	295,8	228,6	289,3	361,7	338,0	329,4	277,6	274,6	300	38
	365,4	308,7	478,2	865,2	774,7	277,9	296,2	426,0	721,8	815,7											273,7	323,9	295,7	231,2	288,6	359,8	337,6	332,0	277,1	274,1		
	366,4	299,6	477,2	859,8	763,4	277,2	294,7	429,5	724,7	814,5											272,9	333,8	296,4	232,6	292,9	360,8	339,3	329,3	276,0	274,5		
C8_c8_f1/2_3	243,7	386,4	437,3	726,1	716,7	297,2	389,8	427,1	762,3	823,7											410,3	258,8	323,4	275,4	312,0	336,5	256,5	331,1	262,4	271,5	303	47
	243,0	372,9	437,2	732,0	717,5	296,8	388,0	427,7	764,5	836,0											411,5	268,2	323,5	273,2	311,6	336,9	257,7	330,7	261,6	267,5		
	249,1	385,9	438,3	732,2	720,2	298,2	389,1	426,8	779,4	836,6											401,4	259,1	322,7	273,1	310,5	335,3	257,0	331,4	256,6	267,3		
FB8_h0.5_f1/2_1	269,5	371,9	534,1	627,7	797,7	308,5	456,2	611,0	1053,2	1086,4											371,1	268,9	264,8	318,6	280,3	324,1	219,2	231,5	189,9	205,8	268	56
	274,5	373,3	533,1	629,6	796,7	306,2	451,9	608,1	1053,2	1067,7											364,3	267,9	265,3	317,7	280,7	326,6	221,3	232,6	189,9	209,4		
	268,3	373,6	524,6	631,2	796,3	299,5	449,5	610,7	1053,7	1077,4											372,7	267,7	269,6	316,9	280,8	333,9	222,5	231,6	189,8	207,5		
FB8_h0.5_f1/2_2	308,3	370,5	492,7	686,8	1055,2	273,3	400,1	605,0	668,6	1064,4											324,4	269,9	287,0	291,2	211,9	365,9	249,9	233,8	299,1	210,1	275	50
	303,3	369,9	491,5	699,8	1101,7	276,1	401,1	603,2	668,4	1064,4											329,7	270,3	287,7	285,8	203,0	362,2	249,3	234,5	299,2	210,1		
	304,7	363,7	491,2	686,2	1082,8	259,0	397,0	608,0	664,7	1073,5											328,2	275,0	287,9	291,5	206,5	386,1	251,9	232,6	300,9	208,3		
FB8_h0.5_f1/2_3	302,5	271,7	505,1	733,9	1094,6	263,7	388,7	518,0	1056,9	1055,2											330,6	368,1	280,0	272,5	204,3	379,2	257,3	273,0	189,2	211,9	276	63
	306,5	271,0	515,6	720,4	1095,2	267,9	392,4	516,3	1055,7	1056,7											326,3	369,0	274,3	277,6	204,2	373,3	254,8	273,9	189,4	211,6		
	304,7	285,6	509,7	718,8	1102,8	261,5	393,7	514,1	1057,1	1056,5											328,2	350,1	277,5	278,2	202,8	382,4	254,0	275,1	189,2	211,6		
FEHB8_c4_f1/2_1	274,6	582,1	512,7	1075,9	1058,0	375,7	359,9	428,9	1074,3	1581,0											364,2	171,8	275,8	185,9	211,3	266,2	277,9	329,7	186,2	141,4	245	65
	279,7	584,9	510,7	1071,7	1057,7	376,3	360,8	428,4	1072,5	1059,2											357,5	171,0	276,9	186,6	211,4	265,7	277,2	330,1	186,5	211,1		
	280,0	582,1	512,9	1072,7	1068,1	380,5	354,9	427,2	1071,7	1058,9											357,1	171,8	275,7	186,4	209,4	262,8	281,8	331,0	186,6	211,2		
FEHB8_c4_f1/2_2	235,3	320,7	504,1	746,8	1016,0	297,3	631,7	689,2	1028,4	1017,6											425,0	311,8	280,5	267,8	220,1	336,4	158,3	205,2	194,5	219,7	262	78
	235,3	320,0	503,9	745,6	1006,2	302,5	632,5	683,7	1039,5	1018,2											425,0	312,5	280,7	268,2	222,2	330,6	158,1	206,8	192,4	219,6		
	224,8	321,1	505,7	748,6	1007,2	302,1	633,3	680,2	1037,1	1017,8											444,8	311,4	279,7	267,2	222,0	331,0	157,9	207,9	192,8	219,7		
FEHB8_c4_f1/2_3	374,2	330,8	615,9	1050,2	1056,7	427,1	567,2	474,6	1080,9	1064,7											267,2	302,3	229,6	190,4	211,6	234,1	176,3	298,0	185,0	210,0	231	44
	373,7	325,6	604,6	1055,6	1057,1	421,1	566,6	479,6	1068,4	1064,4											267,6	307,1	233,9	189,5	211,5	237,5	176,5	294,9	187,2	210,1		
	376,7	325,9	606,5	1055,4	1056,6	421,9	566,2	474,4	1099,7	1065,2											265,5	306,8	233,2	189,5	211,6	237,0	176,6	298,1	181,9	209,9		

Durómetro Shore A

Placa	Dureza (shore A)																Média	dp
C8_c8_f1/2_1	58	84	87	57	74	82	67	34	74	53	87	48	41	61	54	64	17	
C8_c8_f1/2_2	35	44	54	90	85	45	79	69	77	67	41	65	71	50	62	62	17	
C8_c8_f1/2_3	69	55	67	54	58	71	86	35	66	67	84	69	66	53	60	64	13	
FB8_h0.5_f1/2_1	22	49	13	35	25	27	17	34	45	45	44	34	53	21	40	34	12	
FB8_h0.5_f1/2_2	28	24	35	7	27	30	36	32	35	28	35	33	34	25	35	30	7	
FB8_h0.5_f1/2_3	55	21	40	32	42	52	46	50	49	11	22	33	49	31	41	38	13	
FEHB8_c4_f1/2_1	27	49	44	55	49	48	47	23	52	46	52	55	48	55	72	48	11	
FEHB8_c4_f1/2_2	32	52	74	38	49	84	61	66	43	35	36	39	23	52	59	50	17	
FEHB8_c4_f1/2_3	63	70	55	31	56	45	47	64	46	44	56	40	54	64	9	50	15	
BB8_h8_f1/2	25	57	44	38	58	8	58	12	69	71	41	44	41	30	81	45	21	
BB8_c8_f1/2	28	58	72	61	46	54	59	60	40	69	52	4	36	69	70	52	19	
BB8_c4_f1/2	47	59	48	29	59	71	81	51	68	67	51	56	54	46	81	58	14	

Esclerómetro pendular

Identificação da placa	graus Vickers				
	cima	meio	baixo	Média	dp
C8_c8_f1/2_1	68	71	70	70	2
C8_c8_f1/2_2	74	67	69	70	4
C8_c8_f1/2_3	68	73	69	70	3
FB8_h0.5_f1/2_1	44	46	54	48	5
FB8_h0.5_f1/2_2	46	50	52	49	3
FB8_h0.5_f1/2_3	48	51	54	51	3
FEHB8_c4_f1/2_1	69	66	66	67	2
FEHB8_c4_f1/2_2	67	64	59	63	4
FEHB8_c4_f1/2_3	60	59	63	61	2
BB8_h8_f1/2	87	92	89	89	3
BB8_c8_f1/2	78	78	73	76	3
BB8_c4_f1/2	78	78	74	77	2

Flexão

Identificação das placas	Distância entre eixos (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (KPa)
C8_c8_f1/2_1	150	141,13	25,10	302,59	766
C8_c8_f1/2_2		139,06	23,33	221,50	658
C8_c8_f1/2_3		139,33	24,97	307,24	796
FB8_h0.5_f1/2_1		150,75	39,64	39,75	38
FB8_h0.5_f1/2_2		153,58	39,15	26,59	25
FB8_h0.5_f1/2_3		151,15	39,12	20,20	20
FEHB8_c4_f1/2_1		146,59	34,97	254,98	320
FEHB8_c4_f1/2_2		146,17	36,36	257,44	300
FEHB8_c4_f1/2_3		145,87	38,03	212,97	227
BB8_h8_f1/2		141,55	29,97	212,89	377
BB8_c8_f1/2		146,53	30,91	64,34	103
BB8_c4_f1/2		147,32	32,81	52,03	74

Módulo de elasticidade dinâmico

Identificação das placas									Valor mais provável	dp
C8_c8_f1/2_1	989	1107	890	303	972				990	80
C8_c8_f1/2_2	135	865	972	1036					958	
C8_c8_f1/2_3	236	1075	1062	264	1056				1064	
FB8_h0.5_f1/2_1	323	869	931	251	326	865	957	1080	300	63
FB8_h0.5_f1/2_2	316	396	246	306	864				316	
FB8_h0.5_f1/2_3	317	431	870	1136	235	868	972		328	
FEHB8_c4_f1/2_1	216	888	992	223	456	644	821	1051	298	91
FEHB8_c4_f1/2_2	253	315	426	899					331	
FEHB8_c4_f1/2_3	860	858	226	309	376	857	940	1180	304	
BB8_h8_f1/2	472	816	959	475	617	724	996		474	133
BB8_c8_f1/2	200	220	332	895					251	61
BB8_c4_f1/2	270	299	204	272					261	37

Compressão

Identificação das placas	Área inicial* (mm ²)	Força máxima (N)	Resistência à compressão (KPa)
C8_c8_f1/2_1	2500	756	302
C8_c8_f1/2_2		1011	404
C8_c8_f1/2_3		1721	689
FB8_h0.5_f1/2_1		107	43
FB8_h0.5_f1/2_2		128	51
FB8_h0.5_f1/2_3		117	47
FEHB8_c4_f1/2_1		707	283
FEHB8_c4_f1/2_2		430	172
FEHB8_c4_f1/2_3		414	166
BB8_h8_f1/2		1146	458
BB8_c8_f1/2		278	111
BB8_c4_f1/2		701	280

Resiliência

Identificação das placas	Espessura inicial (mm)	Força comp. p/ % esp. (N)	Esp. quando comprimido (mm)	Força no final dos 5 min a % da esp.	Espessura final (mm)	R (%)
C8_c8_f1/2_1	25,23	756	22,707	483	24,29	63
C8_c8_f1/2_2	23,18	1011	20,862	642	22,43	67
C8_c8_f1/2_3	25,48	1721	22,932	1062	25,00	81
FB8_h0.5_f1/2_1	40,30	107	36,27	71	38,01	43
FB8_h0.5_f1/2_2	40,32	128	36,288	94	38,79	62
FB8_h0.5_f1/2_3	41,19	117	37,071	82	39,73	65
FEHB8_c4_f1/2_1	35,77	707	32,193	551	35,55	94
FEHB8_c4_f1/2_2	37,51	430	33,759	338	36,47	72
FEHB8_c4_f1/2_3	38,17	414	34,353	292	37,86	92
BB8_h8_f1/2	29,81	1146	26,829	827	28,78	65
BB8_c8_f1/2	32,77	278	29,493	195	30,98	45
BB8_c4_f1/2	32,87	701	29,583	482	31,87	70

Permeabilidade ao vapor de água

Identificação das placas	Espessura amostra (mm)	Área de exposição (m²)	Massa do conjunto ao longo do tempo (mg)										Diferença de massa num intervalo de tempo (mg/h)										Média (mg/h)				Permeabilidade vapor de água (mg/mhPa)
			m1 (Inicial)	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	G _{1,2}	G _{2,3}	G _{3,4}	G _{4,5}	G _{5,6}	G _{6,7}	G _{7,8}	G _{8,9}	G _{9,10}	G					
C8_c8_f1/2_1	25,10	0,0072	223929	223414	222983	222505	221938	221371	220737	220090	219468	-	-21,46	-17,96	-19,92	-23,63	-23,63	-24,38	-25,88	-25,92	-	24,69	1,23	25,92	23,45	0,07	
C8_c8_f1/2_2	23,33	0,0077	235499	234965	234454	233935	233361	232736	232059	231366	230680	229999	-22,25	-21,29	-21,63	-23,92	-26,04	-26,04	-27,72	-28,58	-28,38	27,35	1,37	28,72	25,98	0,07	
C8_c8_f1/2_3	24,97	0,0075	235139	234629	234210	233751	233292	232761	232187	231596	231012	230438	-21,25	-17,46	-19,13	-19,13	-22,13	-22,08	-23,64	-24,33	-23,92	23,22	1,16	24,38	22,06	0,06	
FB8_h0.5_f1/2_1	39,64	0,0079	216800	215844	213788	212449	210821	209177	207335	205661	203972	202211	-39,83	-85,67	-55,79	-67,83	-68,50	-70,85	-66,96	-70,38	-73,38	70,01	3,50	73,51	66,51	0,29	
FB8_h0.5_f1/2_2	39,15	0,0067	196103	194830	193972	193119	192177	191228	190152	189211	188264	-	-53,04	-35,75	-35,54	-39,25	-39,54	-41,38	-37,64	-39,46	-	39,45	1,97	41,43	37,48	0,19	
FB8_h0.5_f1/2_3	39,12	0,0076	222900	222065	221347	220487	219612	218622	217519	216549	215547	214615	-34,79	-29,92	-35,83	-36,46	-41,25	-42,42	-38,80	-41,75	-38,83	40,61	2,03	42,64	38,58	0,17	
FEHB8_c4_f1/2_1	34,97	0,0073	241917	241279	240148	239364	238266	236985	235568	234094	232688	231358	-26,58	-47,13	-32,67	-45,75	-53,38	-54,50	-58,96	-58,58	-55,42	56,17	2,81	58,98	53,36	0,22	
FEHB8_c4_f1/2_2	36,36	0,0079	236048	235373	234630	233846	232977	232040	231057	230073	229075	228105	-28,13	-30,96	-32,67	-36,21	-39,04	-37,81	-39,36	-41,58	-40,42	39,64	1,98	41,62	37,66	0,15	
FEHB8_c4_f1/2_3	38,03	0,0073	217072	216337	215674	214954	214168	213321	212450	211615	210798	-	-30,63	-27,63	-30,00	-32,75	-35,29	-33,50	-33,40	-34,04	-	33,80	1,69	35,49	32,11	0,14	
BB8_h8_f1/2	29,97	0,0081	222467	218701	214960	211314	207559	203575	199586	196090	-		-144,85	-155,88	-151,92	-156,46	-166,00	-166,21	-158,91	-		159,90	7,99	167,89	151,90	0,49	
BB8_c8_f1/2	30,02	0,0077	185378	182202	178695	175398	172398	169359	166148	163185	-		-122,15	-146,13	-137,38	-125,00	-126,63	-133,79	-134,68	-		131,49	6,57	138,07	124,92	0,43	
BB8_c4_f1/2	33,72	0,0084											-														

Viscosidade das colas artesanais

Tempo (min)	Caseína		Farinha	
	Viscosidade (mPas)	Temperatura (°C)	Viscosidade (mPas)	Temperatura (°C)
0,5	0	29,175	2399,488	25,4
1	0	29,1	2159,5392	25,45
1,5	0	29,05	2039,5648	25,45
2	119,9744	28,225	1979,5776	25,45
2,5	239,9488	28,425	1799,616	25,475
3	359,9232	28,425	1799,616	25,475
3,5	359,9232	28,4	1799,616	25,475
4	419,9104	28,4	1739,6288	25,475
4,5	479,8976	28,375	1739,6288	25,475
5	539,8848	28,375	1679,6416	25,5
5,5	539,8848	28,35	1619,6544	25,5
6	539,8848	28,325	1619,6544	25,5
6,5	539,8848	28,275	1559,6672	25,5
7	539,8848	28,275	1559,6672	25,525
7,5	479,8976	28,25	1499,68	25,5
8	479,8976	28,225	1499,68	25,525
8,5	539,8848	28,2	1499,68	25,525
9	539,8848	28,2	1439,6928	25,5
9,5	479,8976	28,175	1439,6928	25,525
10	479,8976	28,15	1439,6928	25,525
10,5	479,8976	28,125	1439,6928	25,525
11	419,9104	28,075	1439,6928	25,55
11,5	419,9104	28,05	1379,7056	25,55
12	419,9104	28,05	1379,7056	25,55
12,5	419,9104	28,025	1379,7056	25,55
13	359,9232	28	1379,7056	25,575
13,5	419,9104	27,975	1319,7184	25,55
14	419,9104	28	1319,7184	25,575
14,5	359,9232	27,975	1319,7184	25,575
15	419,9104	27,95	1319,7184	25,575
15,5	419,9104	27,975	1259,7312	25,575
16	419,9104	27,95	1259,7312	25,575
16,5	419,9104	27,925	1259,7312	25,575
17	479,8976	27,875	1259,7312	25,575
17,5	479,8976	27,875	1259,7312	25,575
18	359,9232	27,85	1259,7312	25,6
18,5	299,936	27,85	1199,744	25,575
19	299,936	27,825	1199,744	25,6
19,5	299,936	27,8	1199,744	25,6
20	299,936	27,8	1199,744	25,6

20,5	299,936	27,8	1139,7568	25,6
21	299,936	27,775	1139,7568	25,6
21,5	299,936	27,775	1139,7568	25,65
22	299,936	27,725	1139,7568	25,6
22,5	299,936	27,725	1079,7696	25,65
23	299,936	27,725	1079,7696	25,65
23,5	299,936	27,725	1079,7696	25,65
24	299,936	27,7	1079,7696	25,6
24,5	239,9488	27,65	1079,7696	25,65
25	239,9488	27,65	1079,7696	25,65
25,5	239,9488	27,625	1019,7824	25,65
26	179,9616	27,625	1019,7824	25,65
26,5	179,9616	27,625	1019,7824	25,675
27	179,9616	27,6	1019,7824	25,675
27,5	179,9616	27,575	1019,7824	25,675
28	179,9616	27,575	1019,7824	25,675
28,5	239,9488	27,575	1019,7824	25,675
29	179,9616	27,55	1019,7824	25,675
29,5	179,9616	27,525	959,7952	25,675
30	179,9616	27,525	1019,7824	25,675
30,5	179,9616	27,525	959,7952	25,675
31	119,9744	27,5	1019,7824	25,7
31,5	119,9744	27,5	959,7952	25,675
32	59,9872	27,5	959,7952	25,7
32,5	59,9872	27,45	959,7952	25,7
33	59,9872	27,425	959,7952	25,7
33,5	119,9744	27,425	959,7952	25,7
34	59,9872	27,425	959,7952	25,725
34,5	59,9872	27,425	959,7952	25,7
35	59,9872	27,4	959,7952	25,725
35,5	59,9872	27,4	959,7952	25,7
36			1019,7824	25,725
36,5			1019,7824	25,75
37			1019,7824	25,725
37,5			959,7952	25,725
38			1019,7824	25,725
38,5			1019,7824	25,725
39			1019,7824	25,725
39,5			1019,7824	25,75
40			959,7952	25,725
40,5			1019,7824	25,725
41			959,7952	25,725
41,5			1019,7824	25,75

Placas para a construção com base em carolo de milho

42			959,7952	25,75
42,5			1079,7696	25,75
43			1019,7824	25,75
43,5			1079,7696	25,75
44			1079,7696	25,75
44,5			1079,7696	25,75
45			1079,7696	25,775
45,5			1079,7696	25,75
46			1079,7696	25,75
46,5			1139,7568	25,775
47			1199,744	25,775
47,5			1199,744	25,775
48			1199,744	25,775
48,5			1199,744	25,8
49			1199,744	25,775
49,5			1199,744	25,775
50			1199,744	25,775
50,5			1199,744	25,775
51			1199,744	25,8
51,5			1199,744	25,8
52			1199,744	25,775
52,5			1199,744	25,775
53			1199,744	25,8
53,5			1199,744	25,8
54			1199,744	25,8
54,5			1199,744	25,8
55			1139,7568	25,8
55,5			1139,7568	25,8
56			1139,7568	25,8
56,5			1139,7568	25,825
57			1139,7568	25,8
57,5			1139,7568	25,8
58			1139,7568	25,825
58,5			1139,7568	25,825
59			1139,7568	25,8
59,5			1079,7696	25,825
60			1139,7568	25,825

E – Ficha técnica da cola comercial



FICHA TÉCNICA
BIO BINDER 701

VERSÃO 02
DATA 03/2014
CÓDIGO FTP_701
PÁGINA 1/2

1 Descrição do Produto

O *BIO BINDER 701* é um aglutinante para granulado de cortiça, em meio aquoso, que tem como base extractos vegetais.

Usa-se em conjunto com um catalisador, também ele de base aquosa.

É sobretudo vocacionado para aglomerados cuja composição deva ser isenta de solventes orgânicos e de ftalatos, sendo ainda um aglomerante que lidera a gama de produtos de preocupações sustentáveis.




2 Aplicações

BIO BINDER 701 destina-se à fabricação de parquet de cortiça de média e alta densidade.

A quantidade de *BIO BINDER 701* a incorporar na composição do aglomerado depende das dimensões dos granulados, mas podem sugerir-se os seguintes valores orientativos:

Cortiça.....100 p.p.
Aglutinante.....8 - 12 p.p.
Catalisador.....15 - 20% do aglutinante (peso)

Recomenda-se um tempo de estufagem entre 18 e 22 horas a uma temperatura entre 110°C e 140°C.

Elaborado por:		Verificado por:		Aprovado por:	
Miguel Pereira (DTE)		Orlando Marques (GSQ)		Miguel Pereira (DTE)	



FICHA TÉCNICA
BIO BINDER 701

VERSÃO 02
DATA 03/2014
CÓDIGO FTP_701
PÁGINA 2/2

3 Características

Aspecto:	líquido castanho
Densidade:	1,30 ± 0,03 Kg/L
Viscosidade (25°C)	1500 ± 500 mPa·s
Teor de sólidos	65 ± 2%

4 Embalagens

O produto pode ser fornecido em tanque de m³ ou em tambores de 220 Kg.

5 Armazenamento




O *BIO BINDER 701*, na sua forma de entrega, pode ser armazenado durante três meses.

6 Dados de segurança

Consultar a ficha de segurança do produto.

7 Outras indicações

A FabriRes recomenda que se efectuem sempre ensaios prévios antes da aplicação do produto. Os dados fornecidos deverão servir apenas como orientação geral. Não se aceitam responsabilidades em relação aos dados fornecidos. Em caso de dúvida, consultar os serviços de Apoio Técnico.

Elaborado por:		Verificado por:		Aprovado por:	
Miguel Pereira (DTE)		Orlando Marques (GSG)		Miguel Pereira (DTE)	

Mod PO 01.01/01/09/08